

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À INUNDAÇÃO MARINHA DA ÁREA
RIBEIRINHA DO FUNCHAL.**

Gustavo Humberto Rodrigues da Silva

Relatório de estágio orientado pela

Professora Doutora Ana Ramos Pereira

MESTRADO EM GEOGRAFIA FÍSICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

2016

Índice

Índice de Figuras.....	v
Índice de Quadros.....	viii
Agradecimentos.....	ix
Apresentação da instituição de acolhimento e objetivo do estágio.	xi
Acrónimos.....	xii
Nota prévia	1
Resumo.....	3
Abstract	5
1.Objetivos.....	7
2.Caracterização geográfica da área de estudo	9
2.1.A dinâmica física	9
2.1.1.O clima da Ilha e do Funchal.....	9
2.1.2.O clima do Funchal	13
2.1.3.A geologia e a geomorfologia da ilha e do Funchal.....	15
2.1.4.O litoral do Funchal	22
2.2.A dinâmica sociodemográfica.....	28
3.Fontes, métodos e técnicas	35
3.1.Os dados topográficos.....	35
3.2.Os dados da agitação marítima	39
3.2.1.As fontes dos dados.....	42
3.2.2.O tratamento dos dados.....	42
3.2.3.A análise das notícias de jornal.....	44
3.2.4.O modelo para o runup e elaboração cartográfica	45
4.Clima de agitação marítima	51
4.1.Análise das ondas no período de 1996 a 2013.	53
4.2.Variação mensal.....	59
4.3.Dados dos invernos e verões marítimos.....	61
4.4. Definição de temporal	63
4.4.1.Os temporais.....	64
4.5.Interação oceano-atmosfera.....	73
4.6.As notícias analisadas	77

5.Suscetibilidade do litoral do Funchal à inunda��o costeira.....	81
5.1.Cartografia de inunda��o associada ao runup.....	82
6.Conclus��es e considera��es finais.....	91
Bibliografia.....	95
Anexos.....	99

Índice de Figuras

Figura 1 - Distribuição média da precipitação de acordo com as normais climatológicas 1961-1990. Extraído de Policarpo, 2010.	12
Figura 2 - Distribuição da temperatura média anual 1970-1990. Fonte: Observatório CLIMA-Madeira.	13
Figura 3 - Valores médios dos elementos climáticos do Funchal, adaptado de Policarpo, 2010.	13
Figura 4 - Temperatura do ar e valores de precipitação no Funchal 1961 – 1990. Fonte IPMA.	14
Figura 5 - Gráfico termo pluviométrico da estação do Funchal (Obs.) 1961-1990, extraído de Policarpo, 2010.	15
Figura 6 - Fundo oceânico na região envolvente à ilha da Madeira. Excerto de imagem extraída da Notícia Explicativa da Carta Geológica da Madeira, 2010.	16
Figura 7 - Geologia simplificada da ilha da Madeira. Fonte: DROTA.	17
Figura 8 - Declives (%) da ilha da Madeira. Fonte: DROTA.	19
Figura 9 - Geologia simplificada do concelho do Funchal. Fonte: DROTA.	20
Figura 10 - Declives (%) do concelho do Funchal. Fonte: DROTA.	21
Figura 11 - Caracterização geomorfológica do litoral do Funchal, (Quintal, 2012).	23
Figura 12 - Baía do Funchal no início do Séc. XX.	24
Figura 13 - Baía do Funchal em meados dos anos 70 do séc. XX.	24
Figura 14 - Zona de acesso ao mar do hotel Pestana Carlton.	25
Figura 15 - Zona de acesso ao mar do hotel Pestana Carlton.	25
Figura 16 - Zona de acesso ao mar do Hotel Penha de França (à direita) e do Regency Hotel (à esquerda).	26
Figura 17 - Aspetos da agitação marítima no Hotel Vidamar & Clube de Turismo do Funchal.	27
Figura 18 - Limites administrativos e taxa de variação da população nas freguesias do Funchal. Fonte: Câmara Municipal do Funchal.	29
Figura 19 - População residente por freguesia em 2011. Fonte: Direção Regional de Estatística.	30
Figura 20 - Carta de Ocupação do Solo da cidade do Funchal. (Legenda em Anexo N°5). Fonte: DROTA.	32
Figura 21 - Evolução do perímetro urbano no Funchal (1948 (rosa) e 2010 (roxo). Extraído de Policarpo, 2010.	33
Figura 22 - Exemplo de dados topográficos recolhidos com erro associado (azul).	37
Figura 23 - Exemplo comparativo entre os dados fornecidos pela DROTA (esquerda) e após levantamento topográfico (direita).	38
Figura 24 - Localização da bóia ondógrafo do Funchal. Fonte: Google Earth.	40

Figura 25 - Altura de marés medidas acima do zero hidrográfico durante o ano de 2010, no marégrafo do Funchal. Fonte: FCUL.	52
Figura 26 - Frequência (%) de Hs (a azul) e Hmax (a vermelho) na bóia ondógrafo do Funchal, entre 1996 e 2013). Fonte: APRAM.	53
Figura 27 - Amostra gráfica da totalidade da série de dados (nov 1996 – dez 2013).	55
Figura 28 - Caracterização geral da direção associada à ondulação da bóia ondógrafo do Funchal (1996-2013). Fonte: APRAM.	59
Figura 29 - Médias mensais totais de altura de onda do período em estudo (18 anos). A Hs a azul e Hmax a vermelho. Os valores no interior dos círculos correspondem à média mensal de cada mês no período analisado. Fonte: APRAM.	60
Figura 30 - Exemplo de alturas de ondas durante inverno e verões marítimos entre Setembro de 1998 a Março de 2000. (bóia ondógrafo do Funchal). As barras superiores indicam o inverno marítimo (a azul) e o verão marítimo (a amarelo). Fonte: APRAM.	61
Figura 31 - Exemplo de alturas e ondas durante invernos e verões marítimos de setembro de 2006 a agosto de 2008 (bóia ondógrafo do Funchal). As barras superiores indicam o inverno marítimo (a azul) e o verão marítimo (a amarelo). Fonte: APRAM.	62
Figura 32 - Temporal de 14 dezembro a 19 dezembro de 1997. No gráfico temos presente as alturas de onda atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.	66
Figura 33 - Temporal de 30 de janeiro a 3 de fevereiro de 1998. No gráfico temos presente as alturas de onda atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.	67
Figura 34 - Temporal de 12 a 13 de abril de 2003. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.	68
Figura 35 - Temporal de 4 a 7 de dezembro de 2010. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.	68
Figura 36 - Temporal de 3 a 6 de março de 2013. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.	69
Figura 37 - Temporal de 2 a 4 de abril de 2013. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.	70
Figura 38 - Temporal de 16 a 17 de dezembro de 2002. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.	71
Figura 39 - Temporal de 7 a 10 de abril de 2008. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.	71
Figura 40 - Temporal de 15 a 30 de dezembro de 2009. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.	72

Figura 41 - Temporal de 17 a 22 de dezembro de 2010. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.	73
Figura 42 - Carta de superfície às 12h do dia 03 de março de 2013, reduzida ao nível do mar. Fonte: http://www1.wetter3.de .	74
Figura 43 - Carta de superfície às 00h do dia 09 de abril de 2008, reduzida ao nível do mar. Fonte: http://www1.wetter3.de .	75
Figura 44 - Carta de superfície às 18h do dia 16 de dezembro de 2009, reduzida ao nível do mar. Fonte: http://www1.wetter3.de .	75
Figura 45 - Carta de superfície às 00h do dia 24 de dezembro de 2009, reduzida ao nível do mar. Fonte: http://www1.wetter3.de .	75
Figura 46 - Carta de superfície às 06h do dia 17 de dezembro de 2010, reduzida ao nível do mar. Fonte: http://www1.wetter3.de .	76
Figura 47 - Carta de superfície às 00h do dia 21 de dezembro de 2010, reduzida ao nível do mar. Fonte: http://www1.wetter3.de .	76
Figura 48 - Exemplos de notícias analisadas com particular transtorno na dinâmica portuária e causadoras de estragos no litoral do Funchal. Fonte: Arquivo Regional da Madeira.	79
Figura 49 - Exemplos de notícias analisadas com particular transtorno na dinâmica portuária e causadoras de estragos no litoral do Funchal. Fonte: Arquivo Regional da Madeira.	79
Figura 50 - Imagens alusivas a ondulação extrema na praia Formosa e consequentes estragos em bares e restaurantes. DN Madeira. Fonte: Arquivo Regional da Madeira.	80
Figura 51 - Imagens alusivas a ondulação extrema na praia Formosa. Capa DN Madeira. Fonte: Arquivo Regional da Madeira.	80
Figura 52 - Resultado do runup (R2% de 4,27 m) no sector compreendido entre o Gorgulho (extremidade oeste) e o Hotel Penha de França (extremidade este).	84
Figura 53 - Resultado do runup (R2% de 4,27 m) no sector compreendido entre o Gorgulho (este) e a Ponta Gorda (oeste).	85
Figura 54 - Resultado do runup (R2% de 4,27 m) no sector costeiro compreendido entre a Ponta Gorda e Clube Naval do Funchal (este) e a Doca do Cavacas (oeste).	86
Figura 55 - Resultado do runup (R2% de 4,27 m) sector central costeiro da cidade do Funchal.	87
Figura 56 - Agitação marítima e rebentamento de ondulação na muralha sul do porto do Funchal.	87
Figura 57 - Desabamentos presentes no sector costeiro entre a praia da Barreirinha e o Garajau (ao fundo). Fonte: CMF.	88
Figura 58 - Resultado do runup (R2% de 4,27 m) no sector costeiro correspondente à Praia Formosa.	89

Figura 59 - Resultado do runup (R2% de 4,27 m) no sector costeiro relativo à praia Formosa (este) e a foz da ribeira dos Socorridos (oeste). 90

Figura 60 - Fotografia alusiva ao troço costeiro do limite administrativo oeste da cidade do Funchal, próximo da foz da ribeira dos Socorridos. Fonte: própria. 90

Índice de Quadros

Quadro 1 - Unidades geomorfológicas do litoral do Funchal, adaptado de Quintal, 2012. 23

Quadro 2 - Quadro da disponibilidade dos dados/mês, por ano marítimo, da bóia ondógrafo do Funchal, no período 1996-2013. Dados fornecidos por Administração dos Portos da Madeira-APRAM 42

Quadro 3 - Quadro com os temporais seleccionados e informações complementares (data; duração; Hs max; Hmax). 65

Agradecimentos

A realização deste relatório de estágio contou com importantes apoios e incentivos sem os quais dificilmente se tornaria uma realidade e estarei eternamente grato a todos os intervenientes.

À Professora Doutora Ana Ramos Pereira pela confiança e pelo prazer demonstrado na realização deste relatório. A disponibilidade, o permanente incentivo, o apelo à lógica, bem como os seus conselhos e lições foram a base para o sucesso atingido. Foi uma honra ser orientado por si.

Ao Professor Doutor Jorge Trindade expresso o meu agradecimento pela sua disponibilidade e pela maneira como sempre tentou e conseguiu expor os seus conhecimentos e experiência da melhor forma possível.

Ao Doutor Rui Caldeira pela imediata disponibilidade, pelo interesse, paciência, incentivo, partilha de ideias e recursos, conhecimento, motivação e por me ter acolhido, no CIIMAR-Madeira, sem receios.

A todos os membros do CIIMAR-Madeira, especialmente os que diariamente estiveram presentes e acompanharam todo este processo. Agradeço profundamente toda a ajuda recebida e ideias partilhadas ao Carlos Lucas, à Miriam Jesus, ao Rui Vieira, à Margarida Hermida e ao Duarte Sousa.

Agradeço a todas as instituições que ajudaram na disponibilização e recolha de dados:

- Administração dos Portos da RAM, na pessoa da Eng^a Cecília Correia.
- Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente, na pessoa do Dr. Duarte Costa.
- Serviço de Estrangeiros e Fronteiras na pessoa do Inspetor Teixeira.

Agradeço a todos os responsáveis e funcionários do sector hoteleiros e de instalações balneares que prontamente se disponibilizaram para facilitar a recolha de dados nas instalações do seu local de trabalho:

- Ao Sr. António Cunha, diretor executivo do Clube Naval do Funchal.
- À Sra. Margarida Caldeira, secretária de direção do Hotel Pestana *Carlton*.
- À Sra. Rubina Campos, secretária executiva do Hotel Pestana *Palms Ocean*.
- À Sra. Carla Camacho, relações públicas do Hotel Vidamar.
- Ao Sr. Roberto Ribeiro, do Hotel Penha de França.

- Ao Dr. Carlos Jardim, da Frente Mar Funchal.
- Aos responsáveis dos hotéis *Royal Savoy*, do *Regency Hotel* e do Clube de Turismo do Funchal.

Ao Eng.º Eduardo Freitas da Câmara Municipal do Funchal por permitir o acesso ao complexo balnear do Lido (na ocasião em requalificação).

Ao Professor Doutor Marques da Costa, ao Professor Doutor Jorge Rocha e ao Professor Doutor José Gonçalves (Universidade. Porto), todos com a sua simplicidade e vontade de ajudar.

A todos os meus amigos e colegas que diretamente e indiretamente contribuíram para este estudo, incentivando e que sempre me acompanharam desde o primeiro dia desta caminhada: Ricardo Ferreira, David Faria, Luís Lopes, João Mendonça, Dinarte Freitas, Teotónio Rodrigues, Diogo Silva, Mastil Silva, João Barroso, Bruno Pereira, Flávio Lopes, Daniel Carrilho, Renato Portela, Duarte Rodrigues, David Bruno, César Orey, Tiago Varela, Simão Santos, Afonso Venade, Daniel Campeão, Luís Damásio, Patrícia Ribeiro, Joana Ramos, Ana Teves, Sara Alves, Ana Pêgo e demais, que mesmo não citados sabem bem o que contribuíram.

À minha família, mãe, pai, irmão, irmã, sobrinhos, tia Zita, primo Paulo e respetivos cônjuges, agradeço profundamente todo o apoio demonstrado a todos os níveis, quer pela paciência, quer pela força que tiveram em suportar a distância e as adversidades inerentes a todo este processo sem nunca perderem a fé.

Ao Sr. António e à D. Ilda por tudo.

E a ti Mafalda, por último, mas sem dúvidas a mais importante de todas as ajudas e forças que me acompanharam neste período. Obrigado por toda a compreensão, conselhos, disponibilidade e paciência durante fases menos produtivas e distantes do meu percurso académico. Está feito. É teu, é nosso. Obrigado.

Apresentação da instituição de acolhimento e objetivo do estágio.

O CIIMAR-Madeira é uma organização privada, sem fins lucrativos, com sede na Ilha da Madeira. É uma das únicas organizações especializada em ambientes insulares, envolvida no desenvolvimento de investigação fundamental e aplicada nas áreas das ciências atmosféricas e marinhas. Um dos principais objetivos da instituição é providenciar assistência em processos de tomada de decisão, promovendo a transferência de conhecimento científico e tecnológico para as empresas privadas, organizações estatais e agências públicas. Os investigadores do CIIMAR-Madeira participam na docência de cursos de pós-graduação, nomeadamente a nível de mestrados e doutoramentos. O CIIMAR-Madeira é copromotor do Observatório Oceânico da Madeira (OOM), um consórcio que agrega instituições públicas e privadas.

O estágio permitiu o desenvolvimento do trabalho que agora se apresenta e que permite a avaliação da suscetibilidade e vulnerabilidade existentes na faixa costeira do concelho do Funchal, com o objetivo de relacionar os efeitos adversos de eventos de génese meteorológica e oceanográfica com as variáveis físicas e sociais existentes na ilha da Madeira. A compreensão da interação entre o oceano e atmosfera e os seus efeitos no litoral ajudará a compreender as dinâmicas costeiras existentes, tendo em vista a mitigação de riscos geomorfológicos ao nível da linha de costa contribuindo, desta forma, para uma correta e eficaz identificação e espacialização da suscetibilidade à inundação das áreas ribeirinhas existente em toda a faixa litoral da cidade do Funchal.

Acrónimos

ABM	Arquivo Regional da Madeira e Biblioteca Pública da Madeira
APRAM	Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira
CEG	Centro de Estudos Geográficos
CIIMAR-Madeira	Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental da Madeira
CMF	Câmara Municipal do Funchal
DGT	Direção Geral do Território
DROTA	Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
GPS / dGPS	<i>Global Positioning System / Differential Global Positioning System</i>
IH	Instituto Hidrográfico Português
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
MET	Modelo de Elevação do Terreno
NMPMV	Nível Máximo de Preia Mar Viva
OOM	Observatório Oceânico da Madeira
PDOP / GDOP	<i>Positional Dilution of Precision / Geometrical Dilution of Precision</i>
RAM	Região Autónoma da Madeira
ReNEP	Rede Nacional de Estações Permanentes
SNMOM	Sobrelevação do Nível do Mar de Origem Meteorológica

Nota prévia

Do mar à serra, a ilha da Madeira reúne um vasto leque de valores naturais, paisagísticos, culturais e socioeconómicos que lhe atribuem uma imensurável diversidade que dificilmente se encontra noutro território. Dessa forma é-nos incutida uma especial responsabilidade na sua preservação e proteção, onde toda esta rica diversidade seja valorizada e reconhecida para perdurar através do tempo.

O litoral sempre foi alvo de constantes alterações de cariz natural e de intervenções humanas, mas onde a ação erosiva ligada a fenómenos extremos que geram danos e recuos da linha de costa constituem modificações preocupantes. O litoral é por si só extremamente sensível a todas as variações do nível do mar e a sua evolução difere de local para local. Os processos responsáveis pela formação e evolução morfológica do litoral são variados e complexos, visto que ocorrem em diferentes escalas temporais e espaciais. Todo este processo de transformação tende a contribuir para uma maior exposição aos perigos existentes na faixa litoral (galgamentos oceânicos, inundações de faixas ribeirinhas) que potenciam a destruição e perda de infraestruturas e elementos expostos.

Logo, ter conhecimento das propriedades inerentes aos episódios de agitação marítima será uma mais-valia no que concerne ao estudo desta temática, porque é sabido que as alterações climáticas influenciam as dinâmicas marinhas, contribuindo para um aumento do nível médio das águas do mar bem como numa modificação do regime de agitação marítima e da Sobrelevação do Nível Médio do Mar de Origem Meteorológica (SNMOM). Estas mudanças causam irremediavelmente impactos no litoral devido ao aumento do risco de inundações na faixa ribeirinha, isto porque não nos podemos cingir apenas aos impactos causados pela agitação marítima, mas também é necessário ter em conta que o litoral é um espaço de interface entre a elevada densidade populacional e os sistemas naturais, que neste caso em particular são as praias, as arribas e os vales das ribeiras que desaguam no mar, estando o escoamento sempre dependente do nível do mar e que resultará em inundações e galgamentos associadas à confluência das águas provenientes das inundações/cheias rápidas resultantes de tempestades (frequentes nesta área de estudo - Funchal, Madeira) com as águas vindas do oceano devido a episódios de agitação marítima causados por temporais. Os

temporais no Funchal são sobretudo de W e mais raramente de WSW e de SW. Em casos menos frequentes provêm de S e SE.

Não só de elementos físicos naturais é constituída esta faixa litoral, existindo também habitações e construções de recreio e lazer que sofrem danos com estes eventos pois são também frágeis em comparação com a força do mar. A existência permanente de populações e o usufruto que estas fazem do território inerente à área de estudo (faixa ribeirinha), implica que se identifiquem os pontos críticos existentes na área para se tentar evitar danos físicos e estruturais. Não é fácil diminuir a ação da pressão antrópica existente neste território, devido à sua atratividade ao nível turístico, social e recreativo, mas podem e devem ser tomadas medidas que possibilitem uma interação entre os elementos naturais e o ser humano.

Desta forma, é imprescindível melhorar o conhecimento dos processos físicos existentes, nomeadamente a dinâmica marítima e costeira, para tornar possível uma análise qualitativa e íntegra que identifique as áreas inundáveis em períodos de agitação marítima e que facilite a tomada de decisões por parte dos órgãos de gestão, de modo a promover uma correta utilização da faixa costeira. Igualmente será uma mais-valia para a Proteção Civil, tendo em conta os objetivos e o fornecimento de dados inerentes a esta investigação que visa transmitir especificamente as condições favoráveis à ocorrência de fenómenos causadores de agitação marítima extrema e potenciais contrariedades para a sociedade em geral.

“A ausência de um estudo rigoroso do clima de agitação marítima, que incorpore os parâmetros das ondas, sobre os quais existem dados, que aplique um ou vários modelos de propagação de ondas tendo em conta as características dos fundos oceânicos próximos, isto é, o seu declive, a natureza do fundo, a sua rugosidade, de forma a gerar com rigor modelos de refração, na situação atual e com a solução proposta, mostra um tratamento absolutamente insuficiente dos vários fatores condicionantes da interação entre a dinâmica fluvial e a dinâmica marinha.” (Ramos-Pereira, A.,2010).

Resumo

A ilha da Madeira em todo o seu traçado costeiro está sujeita aos efeitos da ação das correntes e das ondas que, ocasionalmente por conta de situações sinópticas mais adversas, originam temporais marítimos causadores de grandes impactos e destruição no litoral, causadas pela agitação marítima extrema.

Não só a população em geral é afetada por estes episódios. Todas as infraestruturas localizadas em áreas adjacentes ao litoral estão sujeitas a sofrerem danos que, conseqüentemente, podem causar transtorno aos utentes da zona costeira e aos órgãos de gestão encarregues de salvaguardar o pleno funcionamento e segurança destas áreas muito frequentadas, além dos custos de requalificação para o governo regional e autarquias de pontos mais críticos e vulneráveis.

O município do Funchal foi a área de estudo escolhida para a temática das inundações costeiras de origem marítima geradas por tempestades na orla do arquipélago que intensificam as condições da agitação marítima. Este tipo de fenómenos é amplamente conhecido no historial da região, ainda que não tão explorado nem catastrófico como fenómenos de movimentos de vertentes e as famigeradas aluviões. A compreensão dos seus mecanismos, da sua génese e da forma como poderão afetar a população, no Funchal, será desenvolvida durante o seguinte relatório, tornando-o extremamente importante e útil para a temática do ordenamento do território.

Este relatório encontra-se dividido em 6 capítulos.

O **Capítulo I** - Objetivos e pertinência do estudo proposto no quadro do ordenamento do território, onde se revelam os objetivos a atingir junto com uma breve descrição das tarefas perspectivadas na realização do estágio no CIIMAR-Madeira e a relação existente entre os efeitos da agitação marítima e o ordenamento do território.

O **Capítulo II** - Caracterização geográfica geral da ilha e os traços gerais da geografia da área de estudo (no concelho do Funchal) são aspetos fundamentais para um entendimento generalizado do que está dependente e exposto aos efeitos resultantes de inundações costeiras, especialmente ao abordar a caracterização física, biofísica e demográfica do município.

O **Capítulo III** - Descreve toda a metodologia e técnicas utilizadas, a forma como foi recolhida e tratada toda a informação de base e os materiais e ferramentas SIG utilizadas no decorrer de todo o processo. Está patente também a metodologia empregue no cálculo do espraio de onda (*runup*).

O **Capítulo IV** - Aborda a análise estatística elaborada com o intuito de definir e caraterizar o clima de agitação marítima na fachada sul da ilha, bem como a análise e definição das condições de ocorrências de temporais marítimos, em termos de magnitude, e uma análise à interação oceano-atmosfera que está na génese de episódios de agitação marítima extrema na orla meridional da ilha da Madeira.

O **Capítulo V**- Identifica a suscetibilidade à inundação do litoral do Funchal face aos resultados obtidos na resolução do modelo proposto associado ao espraio de onda (*runup*) resultante de um evento extremo. Avaliação das áreas mais suscetíveis a inundação costeira no litoral da cidade do Funchal.

O **Capítulo VI** - As considerações finais a todo um estudo com forte aplicabilidade e utilidade ao município, instituições públicas e privadas, Proteção Civil e ao público em geral, onde estão evidentes as condições e parâmetros que sustentam o rigor do estudo. É de se ter em conta não só os resultados finais atingidos, mas também toda a análise estatística efetuada que constitui um contributo para uma utilização sustentável do sector costeiro da cidade do Funchal.

Palavras-chave: Agitação marítima; Inundações costeiras; Temporais; Funchal; Ilha da Madeira

Abstract

The Island of Madeira in all of its coastal layout is subjected to the effects of the action of currents and waves that occasionally due to more adverse synoptic situations originate maritime storms of great impact and destruction on the coast, caused by extreme sea waves. Not only the general population is affected by these episodes. All infrastructure located in áreas adjacent to the coast are likely to face damage which consequently may cause inconvenience to users of the coastal zone and the responsible management entities to safeguard the fully functioning and safety of these heavily used áreas, in addition to upgrading costs for the regional government and local authorities of the most critical and vulnerable points.

The municipality of Funchal was the study área chosen for the theme of coastal flooding of maritime origin generated by storms on the archipelago's edge that enhance the conditions of the sea waves. This type of phenomenon is widely known in the área, although not as catastrophic as landslides and the infamous alluvium. The understanding of its mechanisms, its genesis and how it may affect the population in Funchal, will be developed during this report, making it extremely important and useful for the theme of spatial planning.

This report is divided into 6 chapters.

Chapter I - Objectives and relevance of the study proposed in the context of spatial planning, where are revealed the objectives to be achieved along with a brief description of the tasks developed in the internship at CIIMAR-Madeira and the relationship between the effects of sea agitation and its effects on spatial planning.

Chapter II - General geographic characterization of the Island and the general features of the geography of the study área (municipality of Funchal) are key aspects for a general understanding of what is dependent and exposed to the effects of coastal floodings, particularly when addressing the physical, biophysical and demographic characterization of the municipality.

Chapter III - Describes all the methodology and techniques used, how all the basic information was collected and treated and also the GIS tools used throughout the whole process. It's also shown the methodology used to calculate the wave runup.

Chapter IV - Addresses the statistical analysis carried out in order to define and characterize the sea agitation climate in the south front of the Island as well as the analysis and definition of the conditions of maritime storms events, in terms of magnitude, and an analysis of ocean-atmosphere interaction that is the genesis of extreme episodes of sea agitation on the southern edge of the Island of Madeira.

Chapter V - Identifies the coastal flooding susceptibility of Funchal by the results obtained in the resolution of the model associated to the wave runup resulting from an extreme event. Evaluation of the most susceptible areas to coastal flooding in municipality of Funchal.

Chapter VI - The final considerations to a study with strong applicability and utility to the municipality, public and private institutions, civil protection and the general public, which are evidence the conditions and parameters that sustain the accuracy of this study. Not only the final results achieved have to be taken in account, but also all the performed statistical analysis is a contribution to a sustainable use of the coastal sector of the municipality of Funchal.

Keywords: Sea agitation; Coastal flooding; Storms; Funchal; Madeira Island.

1. Objetivos

Este relatório de estágio enquadra-se no Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, da Universidade de Lisboa e tem como objetivo a prestação de provas para a obtenção do grau de Mestre em Geografia Física e Ordenamento do Território.

O estágio decorreu no Centro Interdisciplinar de Investigação Marinha e Ambiental da Madeira (CIIMAR-Madeira), sito na cidade do Funchal, sob a supervisão do Doutor Rui Caldeira com uma duração de 9 meses. Durante e posteriormente a este período, o relatório foi executado com a coordenação e orientação da Professora Doutora Ana Ramos Pereira, com o Doutor Rui Caldeira como responsável na instituição de acolhimento.

O estudo desenvolvido tem os seguintes objetivos gerais:

- (i) identificação e caracterização eventos hidroclimatológicos extremos causadores de perigo, no litoral Sul da ilha da Madeira e no caso particular de toda a área ribeirinha do Funchal;
- (ii) avaliação dos perigos em áreas ribeirinhas (galgamentos oceânicos, inundações);
- (iii) avaliação dos elementos expostos nas áreas ribeirinhas perigosas;

É imperativo ter em consideração que as alterações climáticas e os seus impactos trarão maior potencial de risco no território, especialmente na área proposta para este estudo, o litoral da cidade do Funchal, parcela de território extremamente antropomorfizada ao longo dos anos, com sucessivas intervenções de engenharia pesada e que modelaram consideravelmente as dinâmicas naturais e antrópicas desta cidade que, apesar destas intervenções, continua dependente dos impactos associados às alterações climáticas e de situações meteorológicas adversas.

Tendo em conta que o litoral é uma zona de interface entre três importantes sistemas do planeta – o oceano, a atmosfera e a superfície terrestre, os vários processos resultantes da interação entre estes sistemas transformam a zona costeira numa faixa extremamente dinâmica. Estes processos têm impactos diretos na modelação da linha de costa que irão afetar a relação entre a natureza e o homem. Além da importância desta interação para o panorama da geomorfologia, é também importante do ponto de vista antrópico, pois é sabido que uma percentagem da população mundial está concentrada em zonas costeiras que são

palco de inúmeras atividades. Assim, os cidadãos estão legalmente obrigados a ter acesso a qualquer e toda a informação sobre os perigos que possam incidir sobre o território que habitam. Este trabalho tem como pressuposto que o ordenamento do território tem como principal objetivo o conhecimento dos perigos a que a população e infraestruturas estão expostos de forma a criar uma fluída harmonia entre as atividades socioeconómicas e o funcionamento dos sistemas naturais, considerando sempre as dinâmicas presentes.

Sinteticamente, os objetivos específicos estão organizados na seguinte ordem de trabalhos e importância:

- Caracterização da área de estudo e a sua dinâmica física.
- Caracterização do clima de agitação marítima na fachada meridional da ilha da Madeira (18 anos -1996-2013).
- Definição dos períodos de agitação marítima extrema (H_s , H_{max} , SNMOM, marés, NMPMV).
- Definição dos tipos de circulação atmosférica geradores de episódios extremos.
- Análise dos jornais diários ou semanários referentes a esses episódios extremos (complementos e ilustração de situações passadas). Catalogação e identificação dos eventos mais significativos (registos fotográficos; históricos; comunicação social).
- Caracterização sociodemográfica da área de estudo.
- Avaliação da suscetibilidade e vulnerabilidade da área de estudo.

2. Caracterização geográfica da área de estudo

A área de estudo, no concelho do Funchal, situa-se no arquipélago da Madeira que está localizado no sector oriental do Atlântico Norte a cerca de 850 km a sudoeste de Portugal Continental e a cerca de 700 km a oeste do continente africano. Está entre os paralelos 32º 38' e 38º 52' de latitude norte e pelos meridianos 16º 39' e 17º 16' de longitude oeste de Greenwich. A ilha da Madeira na sua generalidade tem uma forma retangular alongada, com um comprimento máximo de 58 km, segundo a direção E-W e com largura máxima de 23 km N-S (Orlando Ribeiro, 1949 *cit.*, Neves. D, 2010). De todo o arquipélago, a ilha da Madeira é a maior e a principal ilha, com uma área total de 736 km² onde também se incluem as ilhas do Porto Santo (42 km²), as Desertas (14 km²) e as Selvagens (4 km²), num total de 801 km². O arquipélago da Madeira em conjunto com os arquipélagos dos Açores, das Canárias e de Cabo Verde forma a região biogeográfica da Macaronésia.

2.1. A dinâmica física

2.1.1. O clima da Ilha e do Funchal.

Devido à sua localização geográfica, na zona subtropical do hemisfério Norte, o arquipélago da Madeira tem, por influência de fatores gerais e locais, um clima subtropical/ameno, durante todo o ano, exceto nas regiões montanhosas, onde existe uma diferenciação evidente entre os elementos climáticos principais (precipitação e temperatura), condicionados pela altitude e exposição aos fluxos aerológicos dominantes.

Num cômputo geral, as condições atmosféricas e climáticas presentes na ilha da Madeira são fruto de eventos diretamente relacionados com a influência de fatores relacionados com a circulação atmosférica geral no Atlântico norte, especialmente na zona latitudinal compreendida entre os Açores e Canárias. É necessário evidenciar que a situação oceânica proporcionada pelas correntes do Golfo e das Canárias têm grande influência nas condições atmosféricas presenciadas ao longo do ano bem como os efeitos dos ventos originados pela convergência intertropical que proporcionam calor e humidade desde os níveis inferiores da atmosfera das regiões tropicais até aos níveis superiores da troposfera nas médias e altas latitudes (Brum Ferreira. D, 2005).

O efeito amenizador causado pela sua posição oceânica e pelos ventos dominantes de nordeste, os alíseos, é muito significativo. Estes ventos gerais, carregados de humidade, tendem a originar chuvas orográficas e contribuem para o regime pluviométrico da região, bem como a reduzida amplitude térmica observada durante todo o ano e a diferenciação das vertentes norte e sul. A influência do Oceano é extremamente importante na regulação e definição do sistema climático insular, especialmente no que respeita à humidade, que é normalmente responsável pelo conhecido efeito de estufa natural (Brum Ferreira. D, 2005) muito característica de territórios costeiros. Segundo Brum Ferreira. D, (2005 *cit.*, p321), a ilha da Madeira corresponde “às ilhas montanhosas de altitude mediana cujos cumes estão ao nível médio da inversão térmica. A maior parte do tempo, os pontos mais altos deste tipo de ilha desaparece num capacete nebuloso”. Mas dependendo da dinâmica das células marítima ou africana do anticiclone subtropical bem como do reforço existente pela água fria proveniente da corrente das Canárias (Brum Ferreira. D, 2005) que influenciam diretamente a variação da espessura do ar marítimo ao redor da Madeira (Brum Ferreira. D, 2005), fazem com que também possa ser considerada como “ilhas montanhosas altas com os topos com uma altitude suficiente para penetrar na camada quente e subsidente acima da inversão térmica. Neste caso, devemos esperar um contraste climático muito grande entre a parte inferior da ilha mergulhando no ar marítimo, que termina numa zona afetada em permanência pelo teto nebuloso, e a parte superior, soalheira, afetada pelo ar seco acima da inversão térmica” (Brum Ferreira. D, 2005).

Como o clima na Madeira é influenciado por fatores de carácter geral e local, é importante mencionar que a influência de fatores como: (i) posição oceânica, (ii) a latitude (subtropical), (iii) a sua posição face aos centros de pressão, nomeadamente centros anticiclónicos continentais provenientes do noroeste africano e do ocidente europeu, bem como o efeito do anticiclone dos Açores, dos vento alísios e dos sistemas frontais associados aos centros de baixas pressões de frentes polares (Quintal, 2007 *cit.*, Policarpo, 2010), que ao baixarem até latitudes próximas do arquipélago favorecem a ocorrência de períodos de elevada pluviosidade. Em conjunto com altitudes muito elevadas e desníveis consideráveis (35% da área emersa acima dos 1000 metros de altitude (Carvalho e Brandão, 1991) onde cerca de 65% da ilha apresenta vertentes com elevados declives, superiores a 25%, como se salienta mais adiante, estão criadas condições para a ocorrência de cheias rápidas e inundações.

Nestas condições, as chuvas orográficas, que combinadas com as originadas por alguns dos sistemas depressionários que costumam atravessar o Atlântico até se fixarem nas proximidades do arquipélago, justificam as abundantes precipitações que assolam esta região.

Existe uma clara diferença entre as vertentes a norte (exposta aos ventos alíseos) e a sul (a sotavento e abrigada dos ventos gerais) é responsável pela variação espacial da precipitação na ilha, com maiores níveis de precipitação nas vertentes viradas a norte, fruto das chuvas orográficas típicas neste território. As vertentes expostas a norte são mais húmidas, frescas e com maiores índices de pluviosidade, por influência direta das massas de ar marítimas vindas de norte e também dos ventos alíseos provenientes do quadrante nordeste que contribuem para que estas tenham características climáticas distintas das vertentes viradas a sul, mais secas, quentes e expostas maioritariamente a ventos do quadrante sul, normalmente mais secos e com menores níveis de precipitação, justificado pelo bloqueio imposto pelas vertentes elevadas e escarpadas a norte.

Outra forma de justificar a ocorrência de grandes níveis de pluviosidade na ilha (além das chuvas orográficas provocadas por células convectivas) deve-se aos efeitos termodinâmicos das perturbações que o relevo desencadeia nas massas de ar. Nesta situação o efeito de *Föhn* tem grande importância no clima ilhéu, devido às características associadas a este fenómeno: “o facto de o ar ser obrigado a subir e a descer tem consequências termodinâmicas importantes na escala local” (Brum Ferreira. D, 2005).

Na ilha da Madeira, o efeito de *Föhn* é, de facto, vigoroso e segundo aquela autora é nesta região que podemos encontrar o melhor exemplo deste fenómeno quando comparado com o restante território nacional, porque sendo a ilha muito montanhosa, torna-se um obstáculo perpendicular aos ventos alíseos, húmidos, que contribui para pronunciar as características deste efeito.

Ocasionalmente ocorrem situações onde uma massa de ar quente e seco proveniente do deserto africano do Saara, denominado localmente por vento de leste ou simplesmente leste, que atinge o arquipélago e origina um aumento das temperaturas até valores acima de 35°C com descida da humidade relativa até valores próximos de 10% (Sepúlveda, 2011), originando ondas de calor. Não só as ondas de calor atingem a ilha, mas ocasionalmente as vagas de frio assolam todo o território insular através da invasão de ar marítimo polar, que perturba, da

mesma forma que as ondas de calor os valores de regularidade térmica presentes na ilha (Sepúlveda, 2011).

A repartição espacial da precipitação evidencia bem os contrastes referidos com valores de precipitação acima de 2800 mm nas zonas montanhosas (Pico Areeiro) e zonas interiores (Bica da Cana; Paul da Serra, Fig. 1), contra os valores inferiores de 800 mm registados na costa sul da ilha (Fig. 1), (Policarpo, 2010).

A distribuição da temperatura média anual, com base nas normais de 1970-1990, apresentadas pelo IPMA e referidas no projeto Estratégia CLIMA-Madeira, mostra que as temperaturas mais elevadas se registam junto à costa com valores médios acima dos 18°C. Porém, a diminuição da temperatura é evidente logo que nos dirigimos para o interior da ilha, resultado direto do aumento da altitude, registando-se valores de temperatura inferiores a 15°C (Fig. 2).

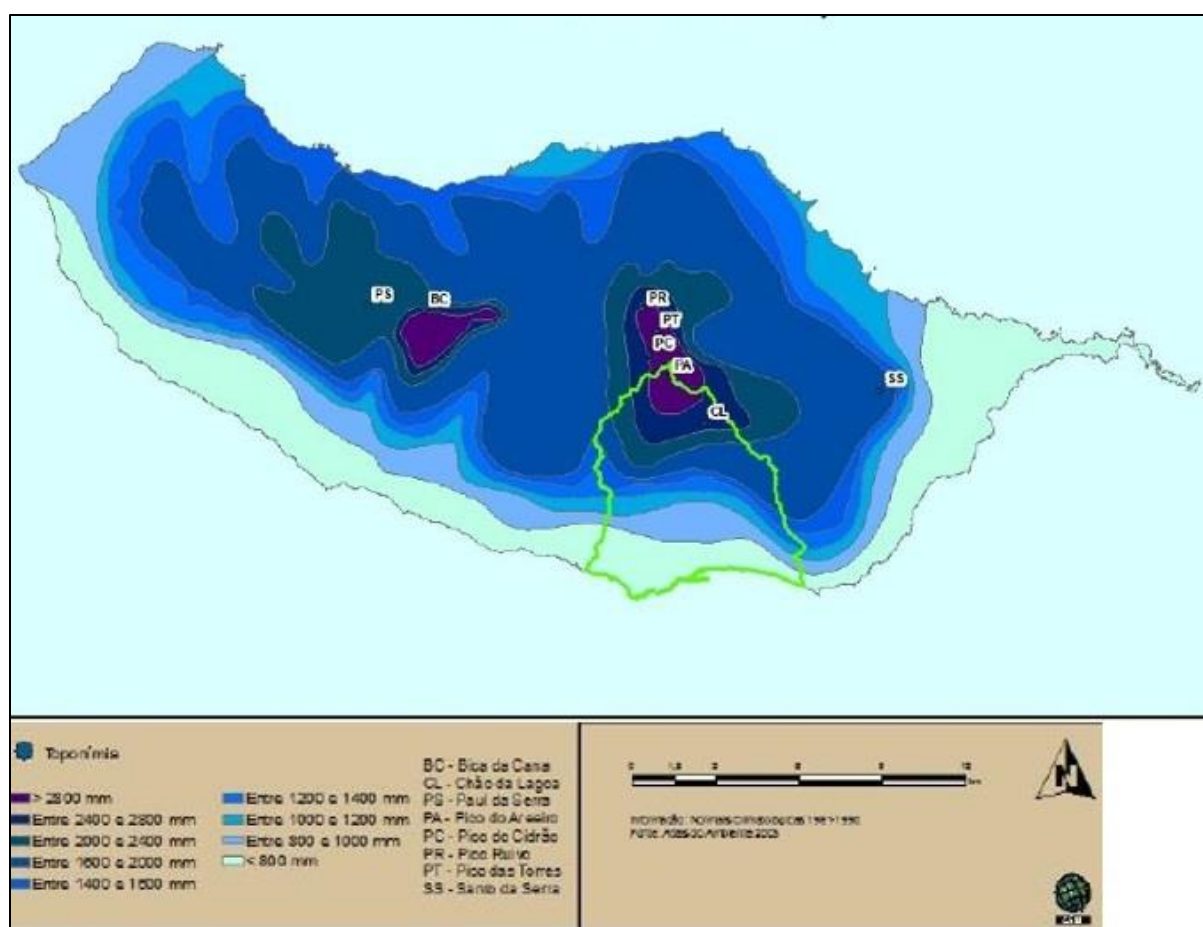


Figura 1 - Distribuição média da precipitação de acordo com as normais climatológicas 1961-1990.
Extraído de Policarpo, 2010.

2.1.2. O clima do Funchal

A cidade do Funchal tem um clima subtropical mediterrânico (Csa), de acordo com a classificação climática de *Köppen*, com temperaturas amenas o ano inteiro devido à sua localização na vertente sul da ilha, a sotavento dos ventos dominantes, que a torna das mais quentes de todo o território insular.

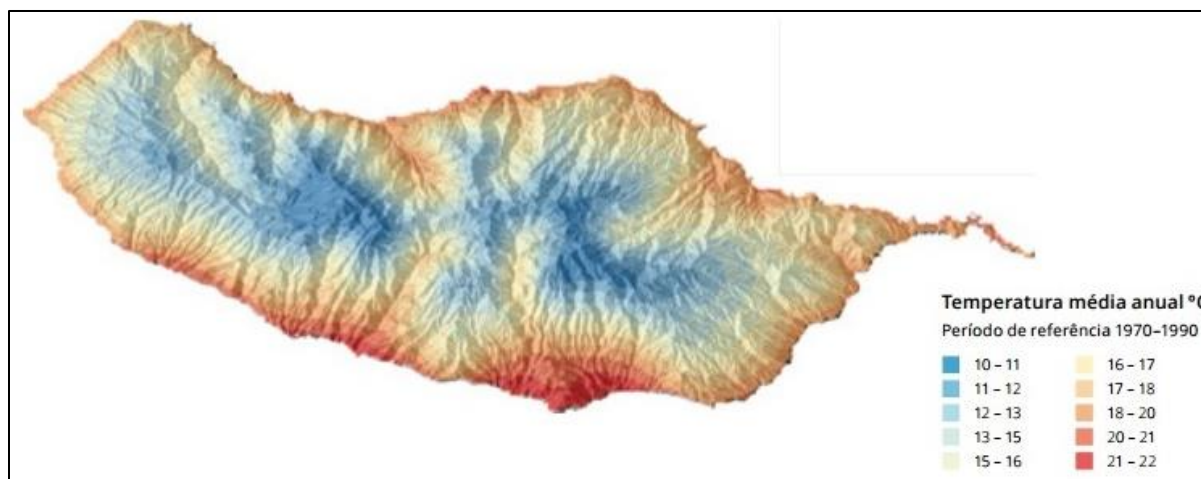


Figura 2 - Distribuição da temperatura média anual 1970-1990. Fonte: Observatório CLIMA-Madeira.

O clima no Funchal expresso pelas Normais Climatológicas (IPMA) para o período 1961-1990 da estação meteorológica do Observatório Meteorológico do Funchal (Lat: 32° 38' N Long: 16° 54' W Alt: 58 m), mostra os valores médios dos diferentes elementos climáticos, observáveis na figura 3.

Estação	Temperatura °C	Precipitação mm	Humidade Relativa (%)	Insolação (Nº de horas)	Evaporação (mm)	Nevoeiro (nº dias)	Nebulosidade (nº de horas)	Orvalho (nº dias)	Geadas (nº dias)	Granizo (nº dias)
Funchal (Obs.)	18,7	661,2	72	2164,8	1194,5	0,5	5	110,9	0,0	1,3

Figura 3 - Valores médios dos elementos climáticos do Funchal, adaptado de Policarpo, 2010.

A posição abrigada da cidade do Funchal justifica a sua temperatura média de 18,7°C, sendo a cidade mais quente da ilha. As temperaturas extremas no Funchal, registaram-se nos meses de agosto, com 38,5°C, e em fevereiro, com 7,4°C (Fig.4). Não existem registos de temperaturas negativas (Policarpo, 2010).

A cidade do Funchal apresenta, também, um interessante número de dias com temperaturas acima dos 25°C, distribuídos pelos meses de julho (7 dias), agosto (19 dias), setembro (19 dias), outubro (8 dias) (Policarpo, 2010).

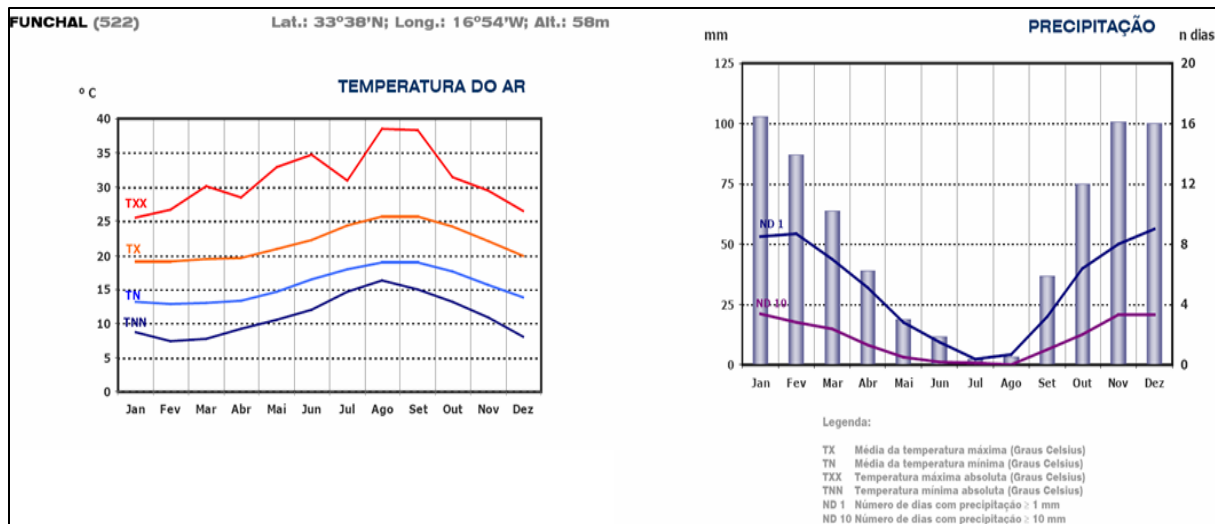


Figura 4 - Temperatura do ar e valores de precipitação no Funchal 1961 – 1990. Fonte IPMA.

No gráfico da esquerda encontram-se os valores de temperatura, nomeadamente os valores extremos e médios. A linha a vermelho indica a temperatura máxima absoluta; a linha laranja indica a média da temperatura máxima; a linha a azul claro mostra-nos a média da temperatura mínima; a linha a azul-escuro indica a temperatura mínima absoluta. O gráfico da direita corresponde aos valores de precipitação no Funchal, nomeadamente o número de dias com precipitação > 1 mm (linha azul) e o número de dias com precipitação acima de > 10mm (linha roxa).

A precipitação anual média no Funchal é de 640 mm, ocorrendo preferencialmente nos meses de outubro e fevereiro, 76% da amostra, (Policarpo, 2010) sendo o mês de fevereiro considerado o mais chuvoso com valores médios de 107,2 mm seguido pelos meses de dezembro e janeiro. (Fig. 5). Os meses com menor precipitação são os meses estivais de julho (2,5mm), agosto (3,1mm).

A correlação dos valores de temperatura e precipitação do concelho do Funchal mostra que a estação seca na ilha da Madeira se estende por 5 meses (maio a setembro; Fig.5).

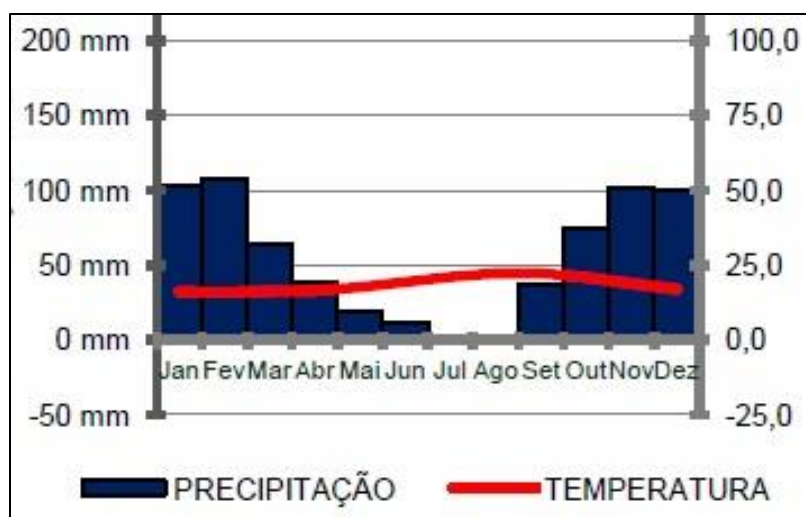


Figura 5 - Gráfico termo pluviométrico da estação do Funchal (Obs.) 1961-1990, extraído de Policarpo, 2010.

2.1.3. A geologia e a geomorfologia da ilha e do Funchal.

A construção da ilha

A parte emersa do território insular da Madeira faz parte de um grande edifício vulcânico – vulcão escudo datado do Mio-holocénico (Brum Ferreira, A., 2005), que se eleva da crosta oceânica cretácica desde profundidades de 4000 m até 1862 m (Pico Ruivo) na área central da ilha. Este edifício vulcânico, desenvolvido num eixo principal E-W, parece ter tido a sua génese num ponto quente (*hotspot*) com a “ascensão do magma a dever-se a uma pluma mantélica”, que caracteriza este tipo de magmatismo oceânico intraplaca (Brum da Silveira *et al.*, 2010, pág.8; Geldmacher *et al.*, 2000).

Do ponto de vista geoestrutural, as ilhas do arquipélago da Madeira estão situadas na extremidade sul da “Crista Madeira-Tore” (Fig.6) que “são estruturas resultantes em grande parte da edificação de grupos complexos de aparelhos vulcânicos que incluem a Madeira e o Porto Santo, cuja história se relaciona com a evolução da crosta oceânica neste sector da Placa Africana, na sequência da abertura do Atlântico” (Carvalho e Brandão, 1991, pág.12).

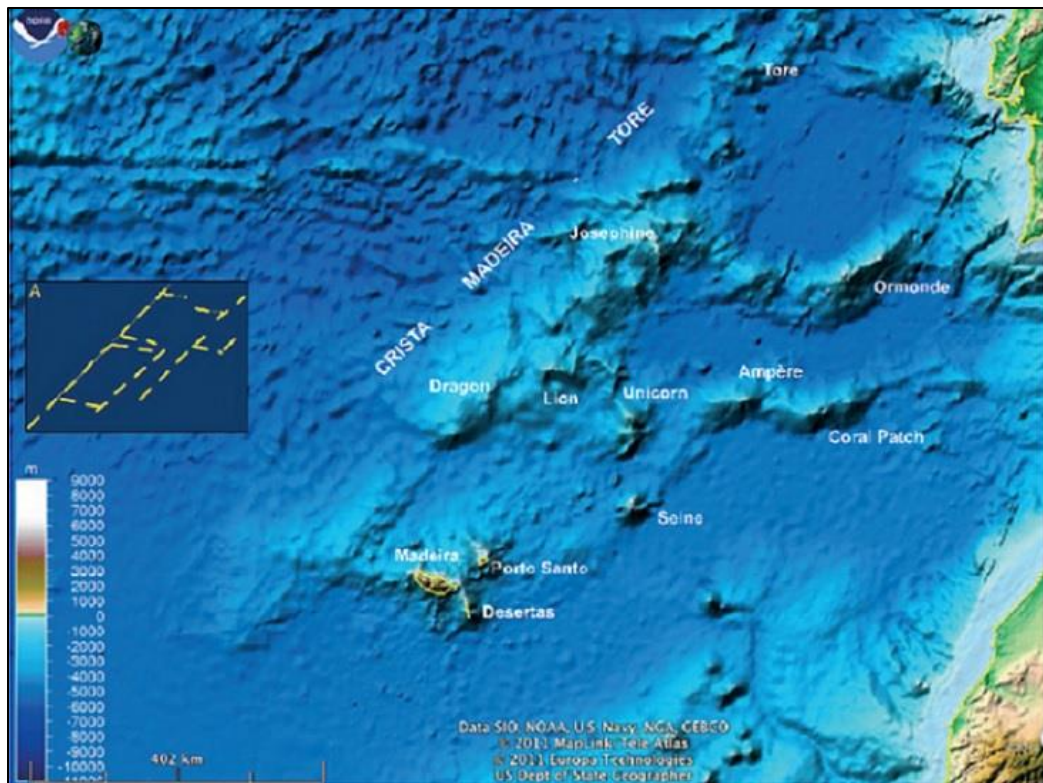


Figura 6 - Fundo oceânico na região envolvente à ilha da Madeira. Excerto de imagem extraída da Notícia Explicativa da Carta Geológica da Madeira, 2010.

Constituída essencialmente por rochas vulcânicas extrusivas, que compõem a maioria do material aflorante (Fig.7). As formações geológicas aqui existentes estão distribuídas por dois conjuntos distintos:

- 1- Rochas lávicas, efusivas, muito compactas ou muito porosas e vacuolares;
- 2- Rochas piroclásticas mais grosseiras, resultantes da atividade explosiva (Carvalho e Brandão,1991).

Naturalmente existem outros tipos de rochas, com diferentes texturas e dureza originadas pelos diferentes processos ocorridos durante as várias fases eruptivas que criaram a ilha da Madeira.

Com base na Carta Geológica da ilha da Madeira (2010), são conhecidas três grandes fases de formação, que se resumem a três complexos vulcânicos principais, de seguida identificados do mais antigo para o mais recente:

- **Complexo Vulcânico Inferior** (Miocénico > 5,57 Ma), constituído por depósitos piroclásticos e brechas vulcânicas com ocorrência secundária de escoadas lávicas; esta unidade é

atravessada por uma densa rede filoniana; englobam este complexo duas unidades vulcano-estratigráficas - a Unidade do Porto da Cruz e a Unidade dos Lameiros.

- **Complexo Vulcânico Intermédio** (Plio-Plistocénico 5,57 – 1,8 Ma), a segunda fase de edificação em ambiente subaéreo, é composto por basaltos e basanitos, devido aos elevados valores de sílica presente nas lavas. Engloba três unidades vulcano-estratigráficas: a Unidade da Encumeada, a Unidade da Penha d'Águia e a Unidade do Curral das Freiras.

- **Complexo Vulcânico Superior** (Plistocénico e Holocénico $\pm 1,8 - 0,007$ Ma) corresponde à terceira fase de edificação e é composto por duas etapas de atividade eruptiva com materiais lávicos alcalinos que originaram basaltos e basanitos, que evidenciam a importância dos processos de diferenciação magmática existente, comparativamente com os complexos vulcânicos ocorridos anteriormente; este último complexo vulcânico engloba duas unidades vulcano-estratigráficas - a Unidade dos Lombos e a Unidade do Funchal (etapa de vulcanismo pós-erosão coincidente com a morfologia atual).

O relevo da ilha

A morfologia da ilha resulta, como já tinha acontecido aquando da formação do Complexo Vulcânico Superior, da forte erosão, promovida pelas ribeiras e pela ação do mar.

O relevo existente na ilha da Madeira foi marcadamente influenciado pela natureza das rochas, pelas condições climáticas e pela dinâmica geomorfológica.

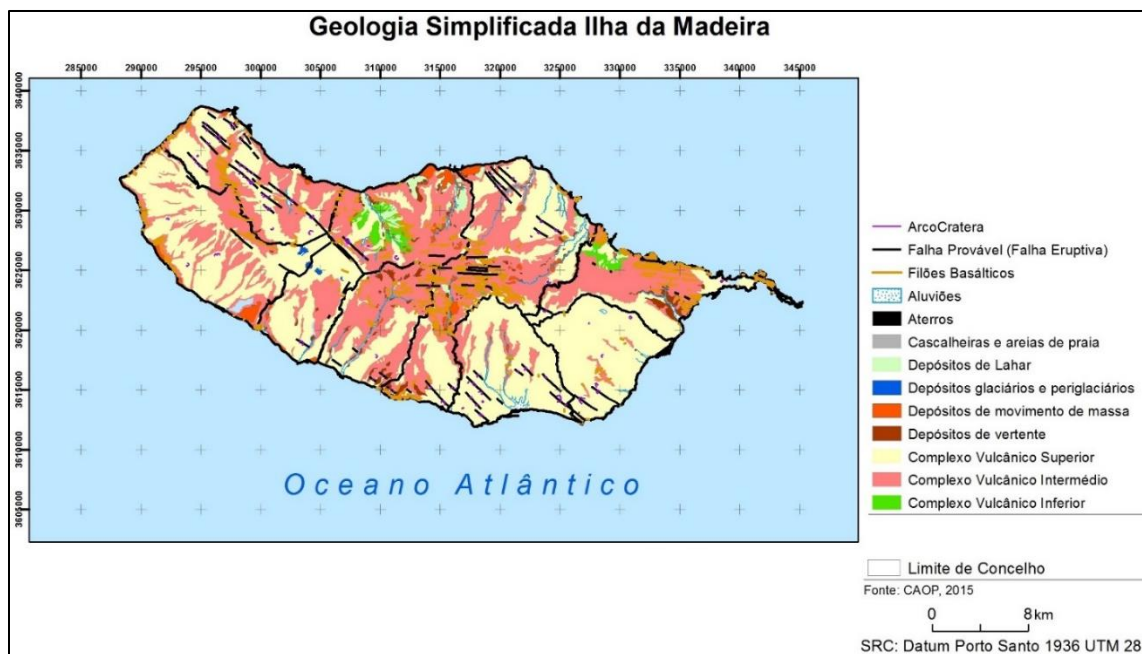


Figura 7 - Geologia simplificada da ilha da Madeira. Fonte: DROTA.

Os episódios erosivos contínuos modelaram a superfície da ilha de uma maneira tão vigorosa, que tornaram o relevo muito acidentado e recortado, dominado por montanhas com elevada altitude (Pico Ruivo 1862 m; Pico das Torres 1851 m; Pico Areeiro 1818 m) e separadas por ravinas e vales muito profundos no interior da ilha. No litoral é notória uma dissimetria entre as vertentes a norte, mais escarpadas e íngremes, e as vertentes a sul, de declives mais suaves (Fig.8). A maior parte da ilha encontra-se acima de 500 m de altitude (90%) e mais de um terço da ilha acima de 1000 m (35%).

A ilha é constituída na parte central por um alinhamento de picos, onde se verificam as máximas altitudes (ver n.ºs 1, 2, 3, respetivamente, na Fig. 8). Deste alinhamento central irradiam um conjunto de ribeiras que sulcam profundamente as vertentes talhadas nas formações vulcânicas, sendo mais importantes, a ribeira de São Vicente (que segue para norte) e a ribeira da Ribeira Brava (que segue para sul). A predominância litológica presente no sector central é composta basicamente por materiais piroclásticos com bancadas basálticas muito alterados (Brum da Silveira *et al.*, 2010) que se prolongam para oriente por um planalto designado por Paul da Serra (altitude média de 1500 m; ver nº 4 na Fig. 8) que com cerca de 20 km², faz parte de um complexo basáltico formado por lavas basálticas compactas com disposição sub-horizontal, que por ser compacto e pouco inclinado dificulta a ação dos agentes erosivos nas rochas em que está assente, o que gerou o aspeto morfológico que se evidencia atualmente (Ribeiro, Luísa, 2007).

No sector oriental, a altitude diminui consideravelmente até atingir o nível do mar e terminar na Ponta de São Lourenço, uma península muito recortada e alongada no extremo este da ilha. Além de ter na sua constituição, um pouco de todos os Complexos existentes na ilha, o terreno acidentado é interrompido por dois pequenos planaltos muito interessantes do ponto de vista morfológico/estrutural (os planaltos do Chão da Lagoa e do Santo da Serra (ver n.ºs 5 e 6).

A análise dos declives (Fig.8) mostra vertentes muito declivosas (área com declives superiores a 30% no conjunto da ilha).



Figura 8 - Declives (%) da ilha da Madeira. Fonte: DROTA.

Os números na Figura 8 correspondem a: 1 - Pico Ruivo; 2 - Pico das Torres; 3 - Pico do Areeiro; 4 - Paúl da Serra; 5 - Chão da Lagoa; 6 - Santo da Serra.

Naturalmente a costa da ilha da Madeira é composta por arribas altas e alcantiladas, muito por efeito da constante abrasão marinha ao longo do tempo. Esta, ao instabilizar as arribas, contribuiu para a formação de pequenas planícies localizadas na base das arribas (fajãs) devido aos deslizamentos e desabamentos desencadeados (termo regional: quebradas).

Inserida no Complexo Vulcânico Superior (CVS) que, segundo (Zbyszewski *et al.*, 1975 *cit.*, Silveira, Brum *et al.*, 2010) concretiza a terceira fase de edificação do vulcão escudo da Madeira, o substrato do concelho do Funchal (Fig.9) é constituído por rochas de todos os Complexos, culminando com a *Unidade do Funchal* (CSV2) que corresponde “uma etapa de vulcanismo pós-erosão, isto é, contemporâneo da morfologia atual” (Silveira, Brum *et al.*, 2010).

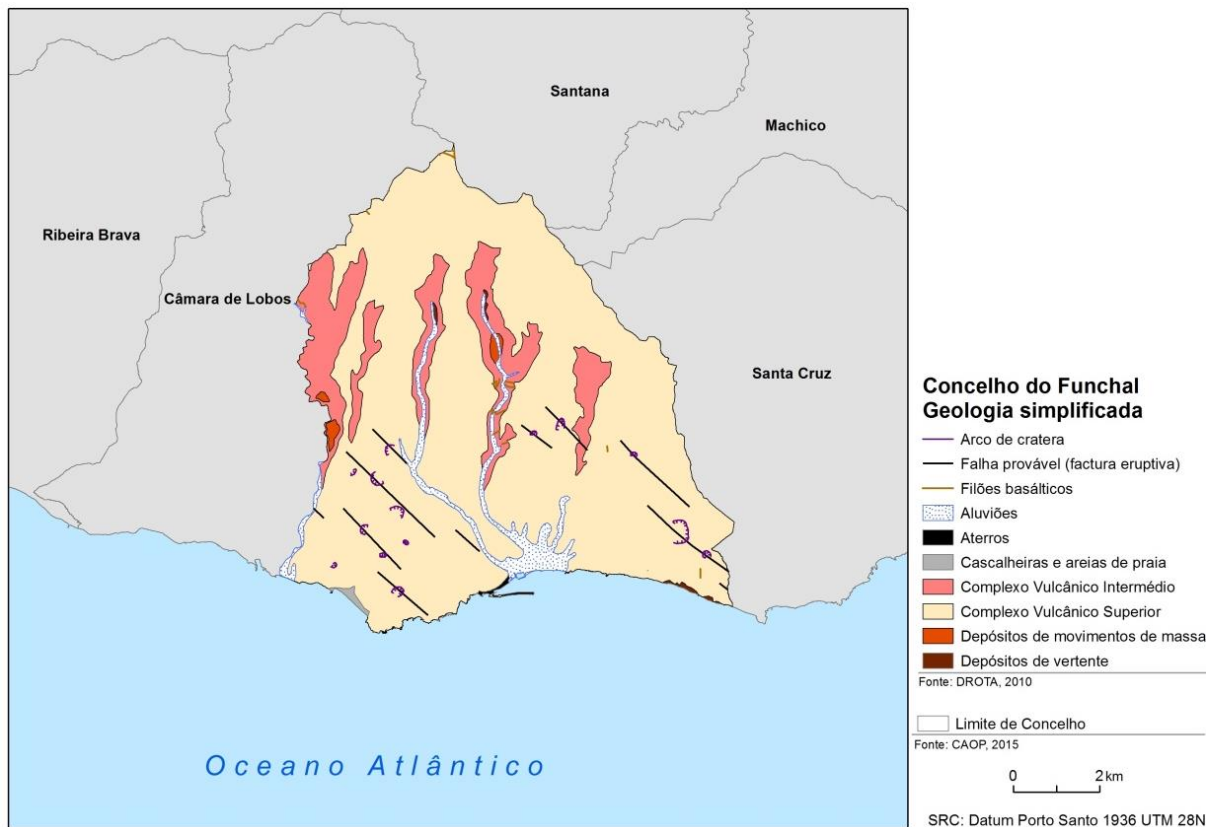


Figura 9 - Geologia simplificada do concelho do Funchal. Fonte: DROTA.

Em termos geomorfológicos, o Funchal compõe-se de três regiões estruturais:

- **A Região dos Picos** – onde nos deparamos com um relevo muito acidentado e recortado, característico das regiões mais elevadas do maciço montanhoso central/vulcânico (> 1300 m), onde se inclui o Pico do Areeiro com 1818 m. Esta região está muito exposta aos ventos dominantes e exhibe grandes declives e está situada no extremo norte do concelho do Funchal.

- **A Região dos Vales** – o troço intermédio do concelho do Funchal, compreendida entre os 400 m e os 1300 m, destacada pelos vales encaixados e vertentes declivosas, típicas da morfologia madeirense, talhados por materiais vulcânicos (basaltos, tufos, brechas vulcânicas), onde os cursos de água/ribeiras que aqui escoam mostram declives longitudinais muito elevados, fatores que em conjunto com precipitação intensa, favorecem a instabilização das vertentes ao longo das ribeiras.

- **A Região Baixa do Funchal** – extensão até ao mar da região dos vales, que no seu traçado final, a uma altitude mais baixa, é constituída por fajãs formadas por desabamentos ou deslizamentos causados pela instabilidade das arribas vivas ali presentes (Policarpo, 2010). A análise dos declives (Fig.10), que de certa maneira evidencia o vigor do relevo, mostra existirem 3 auréolas; (i) a da área das cabeceiras das ribeiras que drenam o concelho do Funchal onde os declives são relativamente baixos (classe amarela e verde); (ii) uma auréola central marcada pelo entalhe das principais ribeiras, cujas vertentes exibem declives superiores a 30%, e por vezes superiores a 60% como sucede no vale da R^a dos Socorridos, da R^a de S. João e de Santa Luzia; (iii) a auréola do Funchal, onde os declives predominantes são $\leq 30\%$ e os mais frequentes $< 15\%$.

Desta forma e devido às características do relevo da Madeira, com bacias hidrográficas muito declivosas, de pequenas dimensões, com as cabeceiras a altitudes elevadas onde as linhas de água evidenciam grandes declives, encaixadas em zonas escarpadas com vales profundos e

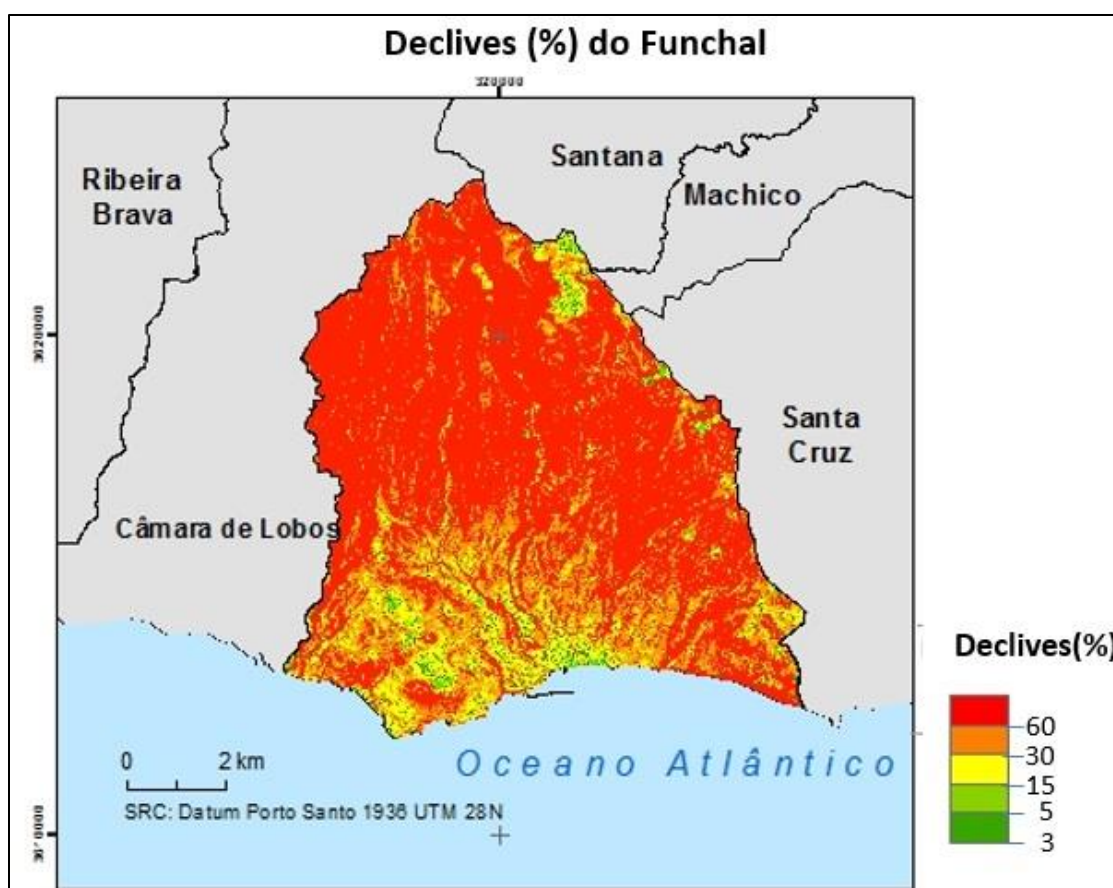


Figura 10 - Declives (%) do concelho do Funchal. Fonte: DROTA.

encaixados favorecem a ocorrência dos denominados aluviões¹ e situações de cheia, caracterizadas pelo rápido aumento do caudal das ribeiras com velocidades de escoamento elevadas (CLIMAAT-II-MADEIRA,2006) em consonância com a inexistência de áreas mais aplanadas, onde a energia possa ser dissipada (EARAM, 2010).

Apesar do profundo entalhe das ribeiras, pode considerar-se que o concelho do Funchal constitui um anfiteatro bem conservado que, segundo Silveira *et al.*, (2010), é o resultado de um grande deslizamento, “Mega Deslizamento do Funchal”, ocorrido numa das fases de formação da ilha.

2.1.4. O litoral do Funchal

Todo o litoral na ilha da Madeira é marcado por arribas escarpadas e apresenta em algumas zonas enormes desníveis. Estas megarribas situam-se, predominantemente, nas encostas a norte e a ocidente destas destaca-se a megarriba do Cabo Girão que atinge 585 m de comando. No concelho do Funchal, a linha de costa tem 10,7 km e as arribas, embora dominantes (8,9 km), são mais modestas, em média têm 32 m de altitude no sector ocidental e no sector oriental atingem aproximadamente 139 m mas alcançam 270 m, como altitude máxima no extremo oriental do concelho. Toda a extensão e classificação das unidades geomorfológicas presentes no litoral estão descritas no quadro abaixo (quadro 1), o que ajuda a perceber a diferente diferenciação morfológica do litoral do Funchal. Distinguem-se arribas vivas das arribas mortas e fósseis (Fig.11).

¹ Aluviões – Termo regional que descreve as violentas cheias rápidas e inundações catastróficas das ribeiras que por vezes ocorrem na ilha da Madeira, em que blocos rochosos, terrenos agrícolas, árvores são arrancados e transportados até ao mar (Quintal, 1999).



Figura 11 - Caracterização geomorfológica do litoral do Funchal, (Quintal, 2012).

As arribas são descontinuadas apenas pela foz das ribeiras principais, de pequenos ribeiros e praias, onde nem sempre os processos geomorfológicos ocorreram com a mesma rapidez e se denota que quando o recuo das arribas foi mais rápido do que o encaixe das ribeiras, deu origem a vales suspensos. O recuo das arribas e do litoral está relacionado com a energia das ondas aquando do seu impacte na base das arribas e também da resistência natural das rochas. Nestas últimas formam superfícies de rutura que posteriormente se desmontam e causam deslizamentos/desabamentos, originando as conhecidas fajãs (ex: Paúl do Mar, Jardim do Mar, Fajã da Areia) que são acumulações de depósitos desabados ou deslizados até à base das arribas. (Ribeiro,1998 in Sepúlveda 2011; Ribeiro, Luísa, 2007).

Quadro 1 - Unidades geomorfológicas do litoral do Funchal, adaptado de Quintal,2012.

Unidades Geomorfológicas	Extensão (Km)	Percentagem %
Praias	1,8	16,83
Arriba	6,7	62,61
Arriba morta	1,6	14,96
Arriba fóssil	0,6	5,60

A cidade do Funchal esteve sempre sujeita a uma relação de disputa de território com o mar e as aluviões resultantes de grandes episódios de cheias, sendo que aos poucos e em consequência do crescimento exponencial da população e consequente aumento do centro urbano, surgiu a necessidade de ganhar terreno ao mar. A linha de costa do Funchal, especialmente na baixa do Funchal, no início do século XX, era uma extensa praia de calhau rolado, onde a única influência antrópica se fazia notar pelo cais do Funchal (Fig. 12).

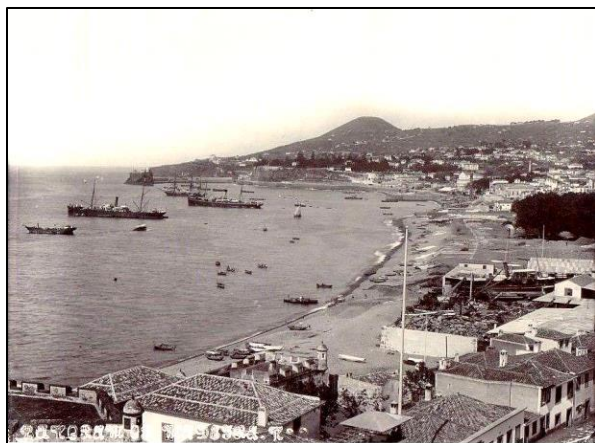


Figura 12 - Baía do Funchal no início do Séc. XX.

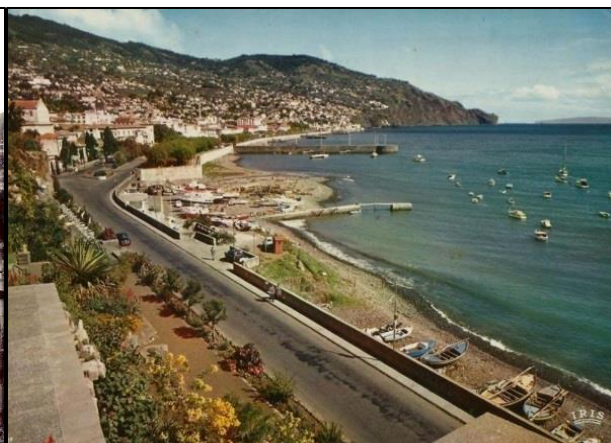


Figura 13 - Baía do Funchal em meados dos anos 70 do séc. XX.

No município do Funchal, as praias estreitas e pouco extensas, não ultrapassando 1,8km, são quase exclusivamente constituídas por cascalho e blocos.

Efetivamente com o decorrer dos anos e da evolução da cidade do Funchal começaram a surgir as primeiras obras de artificialização da costa, que aos poucos começaram a transformar toda a linha de costa funchalense, desde a foz da ribeira dos Socorridos até ao calhau do Garajau (Fig. 13).

Seguindo uma orientação E-O², podemos verificar que a costa do Funchal entre o Garajau e a Fortaleza de São Tiago (Zona Velha da cidade) é composta exclusivamente por uma linha de arribas (Anexo 2), com exceção de uma ou outra pequena praia de calhau rolado (Garajau, cais do Lazareto e Toco. Ver Anexo 1).

Na baía do Funchal é possível encontrar uma exceção à imponente das arribas: toda a extensão desde a Fortaleza de São Tiago até à foz da ribeira de São João é baixa e

²Tendo como objetivo facilitar o conhecimento toponímico de alguns locais mencionados acima, na caracterização e descrição do litoral, tomou-se a opção de apresentar imagens da linha de costa, retiradas e editadas no *Google Earth Pro* com os locais mencionados devidamente assinalados, para assim tornar mais fácil a leitura e análise do texto. Anexos 1,2,3 e 4.

relativamente plana (aqui se inserem, igualmente, as fozes das maiores ribeiras do concelho; Santa Luzia, João Gomes e São João (Anexo 2).

O primeiro indício evidente de uma arriba morta existente na linha de costa funchalense encontra-se logo após a foz da ribeira de São João e a entrada norte do porto do Funchal, devido à construção da Av. Sá Carneiro, que efetivamente impediu que o mar voltasse a contactar com a base dessa arriba (Fig. 11).

São várias as cadeias hoteleiras que se estabeleceram no litoral do Funchal e foram realizadas obras de artificialização do litoral, com o intuito de proporcionar aos seus hóspedes um acesso exclusivo e tranquilo ao mar.

Entre a Pontinha (porto do Funchal) e a foz do Ribeiro Seco (Anexo 3) são visíveis pequenos cais de acesso ao mar, pequenas áreas planas (de betão), pontões, solários e também piscinas artificiais, tudo construído na base das arribas (algumas vivas e outras mortas) mas que definitivamente deixaram de ser funcionais e apesar desta situação, continuam a oferecer perigos de “quebradas” (Fig. 14;15;16). Existem quatro unidades hoteleiras nesta porção de território (Penha de França; *Regency Hotel*; *Royal Savoy*; *Pestana Carlton*).

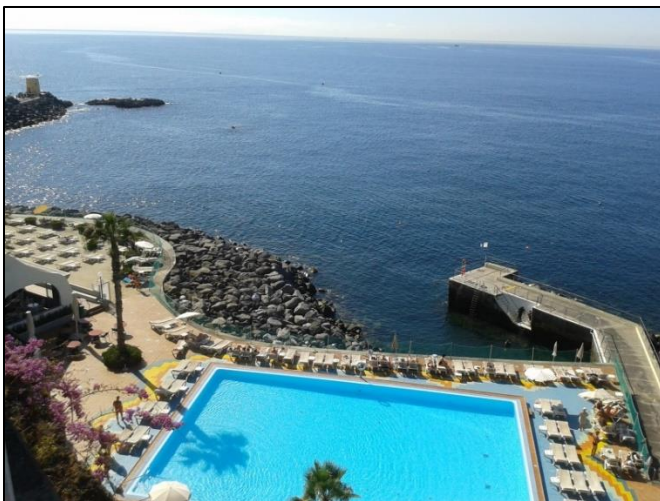


Figura 14 - Zona de acesso ao mar do hotel Pestana Carlton.

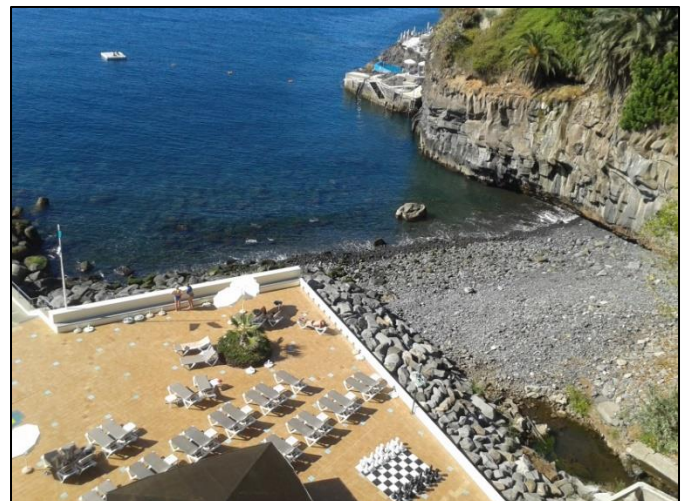


Figura 15 - Zona de acesso ao mar do hotel Pestana Carlton.



Figura 16 - Zona de acesso ao mar do Hotel Penha de França (à direita) e do Regency Hotel (à esquerda).

Existem arribas vivas, numa pequena secção da costa, na zona do Salto do Cavalo (Anexo 3), onde se encontram os hotéis *Reid's Palace Hotel*, e mais em frente, até a Ponta da Forja (Anexo 3), o hotel *Cliff Bay*. Da Ponta da Forja até ao Lido é correto classificar toda esta arriba, como arriba morta, devido às construções realizadas pelos hotéis (Hotel Vidamar) e clube privado (Clube de Turismo do Funchal) aí existentes (Fig.17).

Mas saliente-se que, neste troço, a agitação marítima já causou inúmeros estragos e continuará a causar, devido à facilidade com que a ondulação consegue galgar estas construções. Facto evidenciado por funcionários dessas unidades hoteleiras e comprovados por registos fotográficos, amavelmente disponibilizados pela responsável de recursos humanos do Hotel Vidamar (Fig.17).

Na imagem A) e B) da Fig.17 são visíveis os aspetos do cais de acesso ao mar e piscina do hotel Vidamar e do clube de turismo do Funchal. A imagem B corresponde ao cais assinalado na imagem A. A seta na imagem C) assinala os blocos trazidos pelas ondas de temporal no Clube de Turismo do Funchal.



Figura 17 - Aspectos da agitação marítima no Hotel Vidamar & Clube de Turismo do Funchal.

Estas parcelas de território transformadas pelo homem são algumas das que, aquando da ocorrência de fenómenos extremos relacionados com agitação marítima, sofrem danos avultados decorrentes da energia libertada pelo impacto contínuo das ondas (abrasão marítima).

Voltamos a encontrar exceções na linha de arribas, nas praias do Gorgulho e na zona balnear da Ponta Gorda (Anexo 4) ainda que com menor expressão do que comparativamente à área plana presente no centro do Funchal. Da Ponta Gorda até às piscinas do Governador (Doca do

Cavacas), existem arribas com alturas consideráveis (30 a 40 m) e que se prolongam até à Praia Formosa, a maior praia da ilha da Madeira, com 1 km de extensão (Anexo 4).

Esta é predominantemente uma praia de calhaus rolados com areia vulcânica e onde a influência antrópica é significativa, evidenciada pela presença de bares de praia, unidades hoteleiras, antigas instalações da Shell e um passeio público marítimo que percorre quase toda a extensão da Praia Formosa até à foz da ribeira dos Socorridos, ao longo de 1732 m.

Na zona contígua à praia Formosa e à foz da ribeira dos Socorridos (Anexo 4) poucas estruturas foram edificadas, sendo que a estrutura com maior relevo ali presente é o cais de descarga de cimento, que se encontra poucos metros para oriente da foz da ribeira dos Socorridos. Em meados do séc. XIX existiram estruturas de apoio à extração de areias, situadas na extremidade leste da praia Formosa, entretanto abandonadas e parcialmente retiradas.

Como referido acima, o litoral do Funchal é quase na sua totalidade, constituído por arribas, interrompidas por pequenas praias, mas é sobretudo um litoral fortemente artificializado.

2.2. A dinâmica sociodemográfica

Na região autónoma da Madeira residem 267 785 habitantes, sendo que na ilha da Madeira, residem cerca de 262 456 habitantes (Censos 2011). Em comparação com os últimos censos (240 537 habitantes em 2001) registou-se uma variação positiva da população residente.

O município do Funchal ocupa uma área de 76,15 km² e tem cerca de 111 892 habitantes (Censos 2011), o que corresponde a cerca de 41,8% da população da Região Autónoma da Madeira, tornando-o o concelho mais densamente povoado, com cerca de 1469 hab/km² (Fig.18).

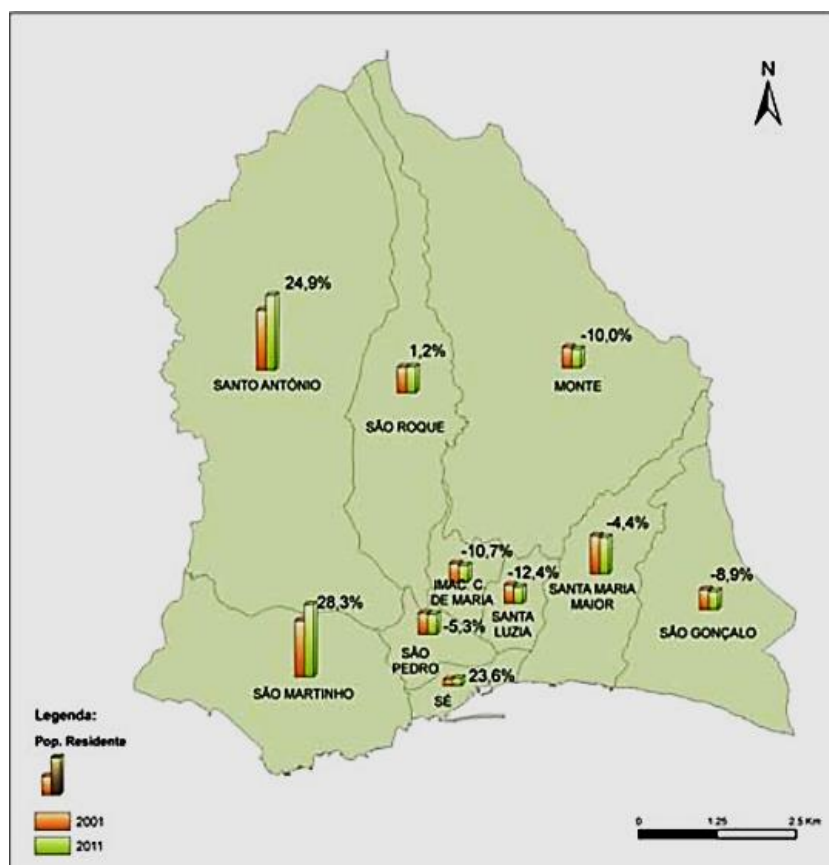


Figura 18 - Limites administrativos e taxa de variação da população nas freguesias do Funchal. Fonte: Câmara Municipal do Funchal.

Este crescimento populacional deve-se, em parte, ao investimento realizado pelo governo regional e pelas autarquias, com o objetivo de proporcionar aos habitantes melhor qualidade de vida e assim cativar a população a estabelecer-se nos centros urbanos mais desenvolvidos, mas sempre com a possibilidade de usufruir das potencialidades existentes no território insular, quer a nível cultural, ambiental e turístico. E a cidade do Funchal evoluiu desta forma, dinâmica idêntica a outras cidades, ao aproveitar o forte impulso que o turismo proporcionou no desenvolvimento e crescimento da cidade (Dantas, 2014).

A cidade do Funchal é, incontestavelmente, o principal pólo populacional e dinamizador da região, mas já não é a única cidade com capacidade para atrair residentes. Por via do desenvolvimento que toda a região desfrutou ao longo das últimas décadas, novos pólos de desenvolvimento surgiram nos concelhos limítrofes, especialmente Câmara de Lobos e Santa Cruz, que conseguiram cativar e absorver um número considerável de habitantes, onde se voltaram a materializar os fluxos migratórios dentro do território insular. Fatores como a

evolução e a modernização das redes viárias, valores mais baixos das habitações e dos terrenos para construção bem como uma melhoria na oferta de serviços, foram fundamentais para convencer um número considerável da população a migrar para outro concelho o que resultou no decréscimo evidenciado em algumas freguesias do Funchal, além da emigração (Fig.18).

As cidades limítrofes do Funchal, Câmara de Lobos (35 666 habitantes) e Santa Cruz (43 005 habitantes) são as mais populosas logo depois da capital, pois estão muito perto da capital, principal centro empregador.

Temos que salientar que os declives acentuados influenciaram a distribuição da população ao longo do tempo, que na sua maioria está fixada abaixo da cota dos 700 m, o que justifica os valores relativos à densidade populacional da cidade do Funchal.

Com base nos dados relativos aos Censos de 2011, a população total do Funchal é composta por 52 076 habitantes do sexo masculino e 59 816 do sexo feminino (Fig.19). Houve um acréscimo populacional de 7,6% entre os Censos de 2001 (103 961 habitantes) e o de 2011 (111 892 habitantes). Assim as freguesias mais populosas do concelho com base no Censos de 2011 são: Santo António (27383 habitantes), São Martinho (26482 habitantes), Santa Maria Maior (13352 habitantes) e São Roque (9385 habitantes). No sentido contrário temos a freguesia da Sé com o número mais baixo de habitantes (2656 habitantes).

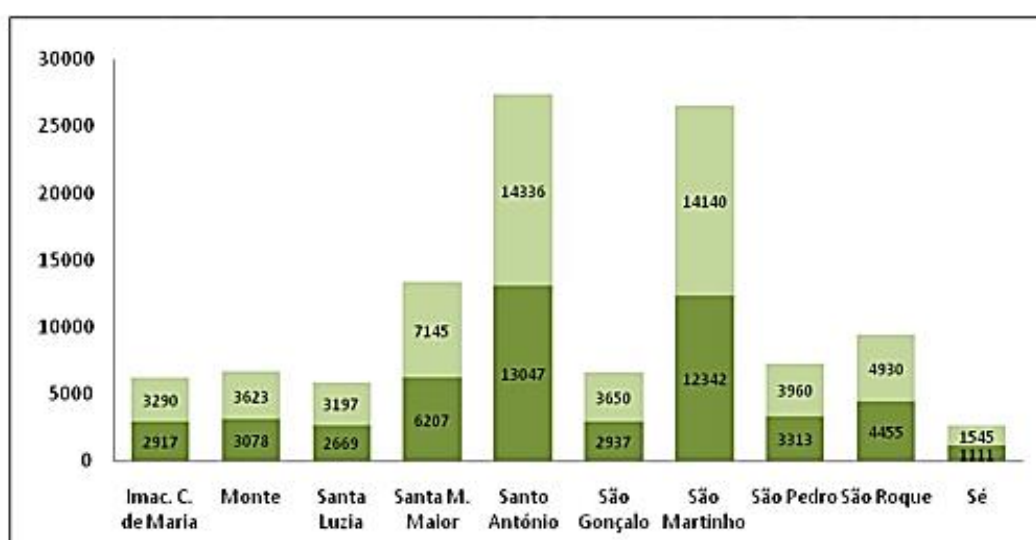


Figura 19 - População residente por freguesia em 2011. Fonte: Direção Regional de Estatística.

Tendo em conta o território em que se inserem, os valores tão elevados de densidade populacional influenciam e criam dificuldades na ocupação e uso do território, porque imediatamente surge uma maior procura de áreas para construção (residencial, comercial, industrial), o que culmina numa enorme pressão sobre o território.

Na cidade do Funchal, grande parte da população reside entre o litoral e as áreas de altitude média. A maioria do território encontra-se ocupado em áreas onde provavelmente seria mais correto não existirem construções, como por exemplo os leitos de cheia das ribeiras e as zonas adjacentes à linha de costa, que regra geral estão sempre suscetíveis aos efeitos devastadores de fenómenos extremos. É certo que as construções em altura são raras, mas isso só contribuiu para que o território no Funchal fosse amplamente urbanizado, aumentando a pressão sobre estruturas relativas ao saneamento, à distribuição de águas e até mesmo sobre algumas estruturas viárias, prédios, pontes e estradas mais antigas e fragilizadas.

Observando a imagem representativa da Carta de Ocupação do Solo (Fig.20, legenda em Anexo (Anexo 5), é patente como se desenvolveu a cidade do Funchal do mar à serra.

O núcleo central corresponde ao centro histórico e ao consequente desenvolvimento ao longo dos anos. O surgimento de inúmeros edifícios de diferentes sectores de atividade e também de cariz residencial deveu-se ao inevitável crescimento da malha urbana, no qual a cidade cresceu em todas as direções e basicamente ocupou toda a zona ribeirinha. A presença, a oeste, de explorações agrícolas é notória, tendo em conta o aspeto tradicional desta parte da cidade que manteve quase até aos dias de hoje a tradição ligada ao cultivo e produção agrícola (bananais).

Da mesma forma que foi utilizada a lógica das auréolas para descrever os declives no concelho do Funchal, foi realizada a mesma análise em relação à ocupação urbana no Funchal. Assim, o núcleo central da cidade corresponde a uma primeira auréola que se estende desde a linha de costa até a cotas de sensivelmente 250 m. A partir desta cota nota-se já uma certa presença de coberto vegetal que se começa a distinguir visto que a presença do betão já não se faz sentir de forma tão “pesada” e a presença de edificado é maioritariamente de natureza residencial e industrial (armazéns). Facilmente se enquadra esta auréola entre 250 m e 550 m de altitude. Assim se distingue a segunda auréola referente à ocupação do solo no Funchal. Por fim temos a terceira e última auréola que corresponde efetivamente ao andar mais elevado, que basicamente é constituída por substrato vegetal e rochoso e se alonga de 550 m

até sensivelmente às serras contíguas ao Pico do Areeiro a 1818 m de altitude. Neste andar existem poucas residências e pode-se facilmente encontrar estruturas como pedreiras, estações de captura de água, estaleiros de construção civil e um vasto conjunto de espécies florísticas. Aqui também se pode encontrar o Parque Ecológico da Madeira.

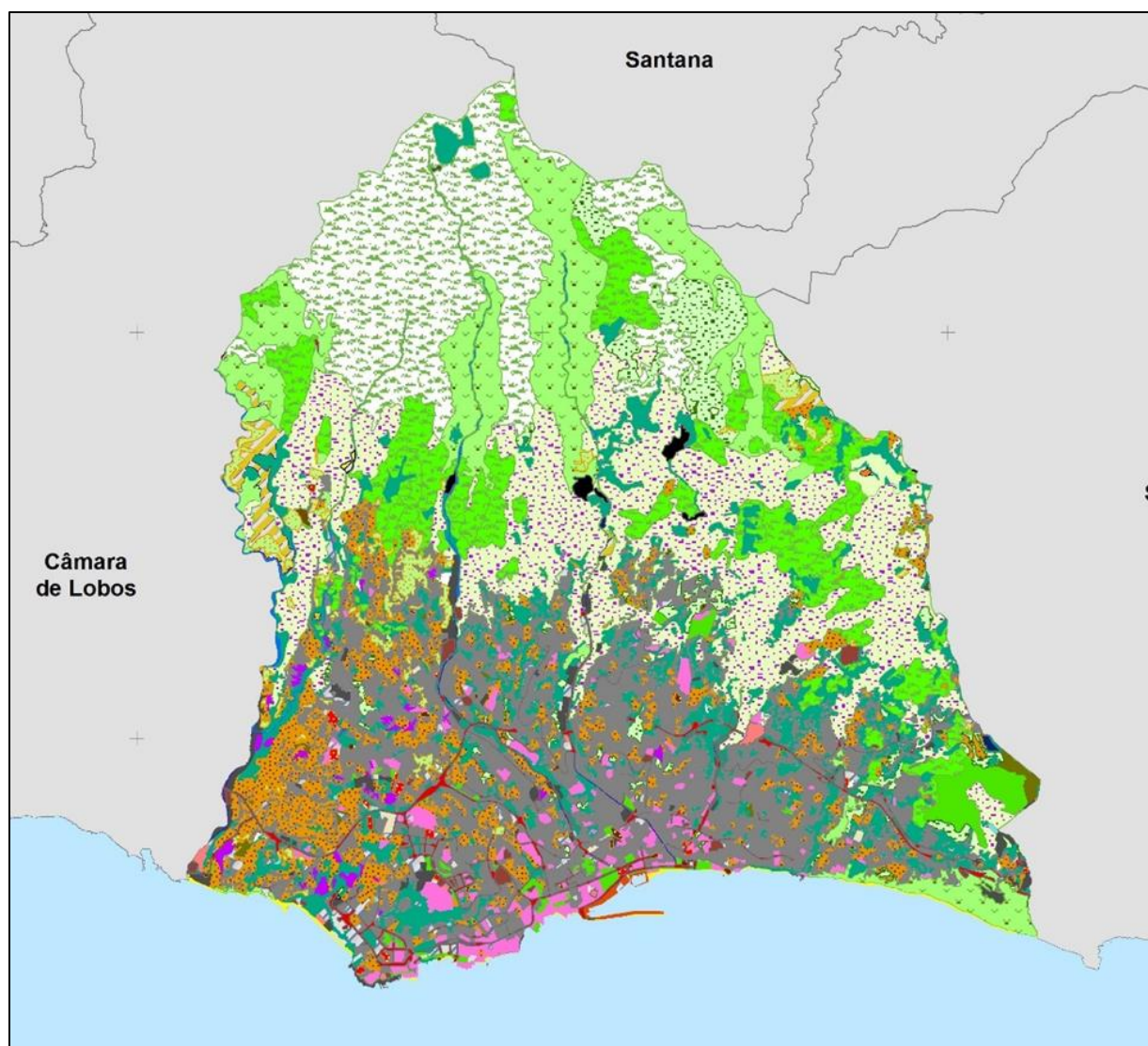


Figura 20 - Carta de Ocupação do Solo da cidade do Funchal. (Legenda em Anexo N°5). Fonte: DROTA.

Da mesma forma que foi utilizada a lógica das auréolas para descrever os declives no concelho do Funchal, foi realizada a mesma análise em relação à ocupação urbana no Funchal. Assim, o núcleo central da cidade corresponde a uma primeira auréola que se estende desde a linha de costa até a cotas de sensivelmente 250 m. A partir desta cota nota-se já uma certa presença de coberto vegetal que se começa a distinguir visto que a presença do betão já não se faz

sentir de forma tão “pesada” e a presença de edificado é maioritariamente de natureza residencial e industrial (armazéns). Facilmente se enquadra esta auréola entre 250 m e 550 m de altitude. Assim se distingue a segunda auréola referente à ocupação do solo no Funchal. Por fim temos a terceira e última auréola que corresponde efetivamente ao andar mais elevado, que basicamente é constituída por substrato vegetal e rochoso e se alonga de 550 m até sensivelmente às serras contíguas ao Pico do Areeiro a 1818 m de altitude. Neste andar existem poucas residências e pode-se facilmente encontrar estruturas como pedreiras, estações de captura de água, estaleiros de construção civil e um vasto conjunto de espécies florísticas. Aqui também se pode encontrar o Parque Ecológico da Madeira.

Com todas estas modificações a nível urbano era impensável que a cidade não continuasse a desenvolver-se desde o centro, localizado mais no litoral (onde se iniciou) até atingir as cotas mais elevadas (Fig.21).

Relativamente às atividades económicas, a cidade do Funchal está muito ligada ao sector terciário, desenvolvendo uma grande ligação com o turismo, um dos maiores impulsionadores da economia madeirense.

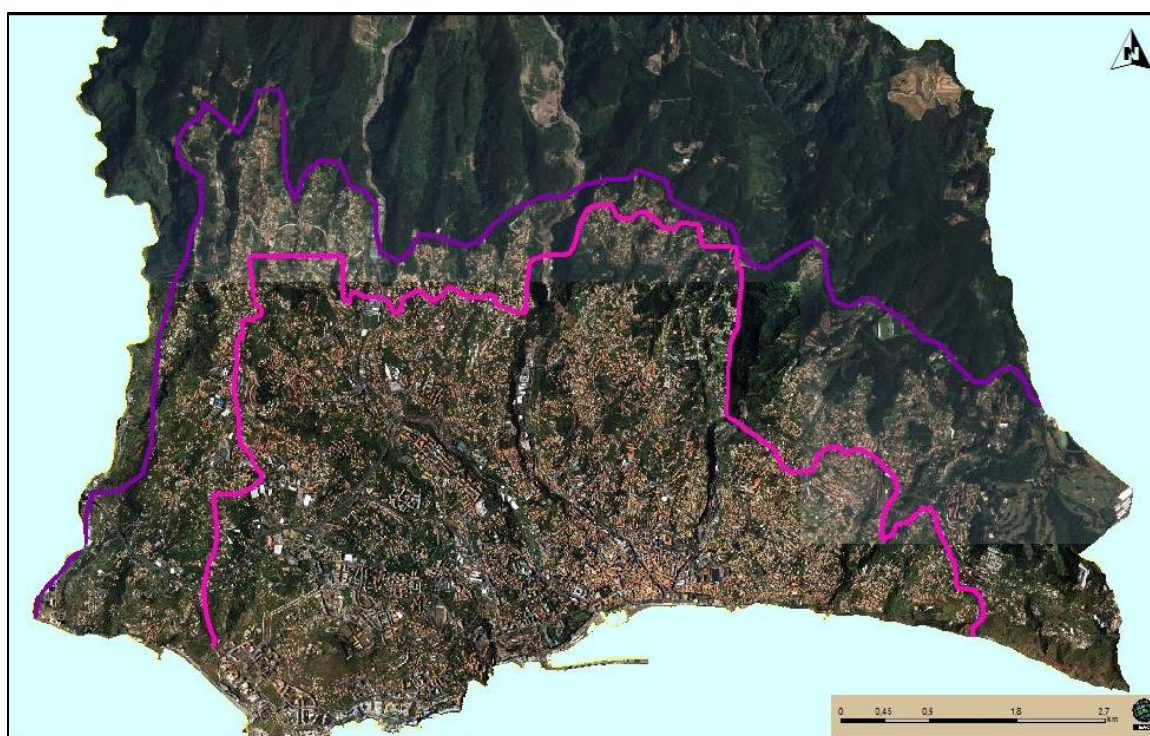


Figura 21 - Evolução do perímetro urbano no Funchal (1948 (rosa) e 2010 (roxo). Extraído de Policarpo, 2010.

Com o passar dos anos a prática da agricultura tem vindo a ser gradualmente abandonada no Funchal, em prol de outras atividades comerciais e administrativas que proporcionaram

maiores rendimentos, justificando os baixos valores registados pelo sector primário no concelho do Funchal, que se situam nuns meros 0,8% da população ativa do concelho. Comparativamente aos dados dos Censos de 2001, o sector terciário passou de 79,6% para 86,5% da população ativa do Funchal, mostrando o peso deste sector na economia regional.

3. Fontes, métodos e técnicas

Este relatório utiliza diferentes métodos e técnicas que serão apresentadas e descritas de acordo com os objetivos definidos para este estudo e ainda as fontes de informação utilizadas.

3.1. Os dados topográficos.

No decorrer do estudo foi efetuado um levantamento topográfico em toda a linha de costa administrativa do Funchal. Este levantamento justificou-se porque os dados disponíveis (fornecidos pela DROTA – Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente) não estão atualizados, tendo em conta as recentes obras de defesa costeira pesada e algumas obras realizadas por particulares responsáveis pelos equipamentos turísticos, tendo como objetivo a aquisição das cotas de todos os elementos artificializados e elementos expostos no litoral, também para delimitar altitudes de elementos naturais presentes no mesmo trajeto percorrido (ver Anexos 6,7 e 8). Como referido anteriormente, o intuito deste levantamento consistiu em percorrer todas as superfícies naturais (praias de calhau rolado, bases e topos de arribas possíveis e piscinas naturais), mas também todo o tipo de estruturas artificializadas situadas na linha de costa, designadamente as muralhas e o porto do Funchal, pontões e cais de acesso marítimo, passeios públicos marítimos, zonas de acesso ao mar pertencentes a instalações hoteleiras e clubes privados, as fozes das ribeiras intervencionadas por obras de engenharia pesada que resultaram na nova frente mar funchalense com paredões a cotas bem mais elevadas que as existentes (nos dados fornecidos) para se perceber a dimensão destas estruturas que também têm a finalidade de proteger a faixa ribeirinha de inundações causadas por galgamentos oceânicos.

O instrumento utilizado para o levantamento topográfico foi um *GPS ProMark 3* da *Magellan Professional*. Este instrumento foi disponibilizado pelo Grupo de Investigação em Dinâmicas Litorais e Fluviais do Centro de Estudos Geográficos do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território (UL).

O GPS (*Global Positioning System*) faz parte de um sistema de posicionamento a nível global, desenvolvido pelo governo norte-americano, que assenta “na medição de distâncias através de tempos de percurso e a diferença de sinais eletromagnéticos emitidos por um conjunto de satélites artificiais” (Antunes, 1995, pág.39).

Considerado como instrumento de elevada precisão, relativamente rápidos e de baixo custo, constitui um processo de obtenção de dados topográficos ideal para manuseamento regular (Morton e Speed, 1996 *in* Sousa, 2015)

Para a realização do levantamento topográfico foi necessário recorrer a alguns ajustamentos em relação ao material a utilizar, nomeadamente o material de apoio ao dGPS. Como só me foi possível transportar o dGPS na sua bolsa própria, esta continha além do GPS, uma antena GNSS externa (rover), um cabo de antena externa GPS-rover, uma bateria, um lápis e um suporte de campo.

O levantamento topográfico foi realizado em modo cinemático, que consiste na recolha de dados contínuos a cada 5 segundos (este foi o intervalo de registo escolhido), independentemente da velocidade e distância percorrida. Alguns cuidados a ter na recolha de dados topográficos dizem respeito à proximidade de edifícios altos ou de elementos naturais muito altos, como o caso de arribas (Trindade *et al.*, 2009). O PDOP (*Positional Dillution of Precision*) ou GDOP (*Geometrical Dillution of Precision*) é um fator que consiste num método eficiente de distribuição geométrica que afeta a precisão da aquisição de dados (Morgado, 2009; Machado, 2009). Explica-se pela posição e distribuição espacial dos satélites, sob a perspetiva do próprio GPS, onde para uma eficaz medição, os satélites têm de estar perfeitamente distribuídos no espaço (Morgado, 2009). Este problema foi sentido junto à base de algumas arribas, que dificultou a recolha de dados especialmente quando o sinal do PDOP aumentava consideravelmente acima do valor normal de 2 (melhor entre 0 e 1). Isto quer dizer que, sempre que este valor aumentava, o erro ou a margem de erro associada à recolha de pontos também aumentava, o que posteriormente se veio a comprovar quando se procedeu à correção diferencial dos levantamentos efetuados.

A recolha de dados teve lugar, alternadamente, durante 6 dias do mês de julho de 2015, especificamente entre as 8h30 e as 17h.

Após concluída toda a recolha de dados, foi necessário recorrer ao *software GNSS Solutions* para efetuar o *download* dos dados adquiridos durante o levantamento topográfico e assim proceder à correção diferencial dos mesmos.

A correção diferencial, segundo Machado (2009, p11) “reduz ou elimina os erros de reflexão, erros de relógio de satélite, erros de órbita e erros de disponibilidade seletiva”. É efetuada

com recurso aos ficheiros ReNEP, ficheiros esses que fazem parte de um serviço público de geo-posicionamento prestado pela Direção Geral do Território - DGT, que disponibiliza, a todos os utilizadores de equipamentos GPS, os dados que facilitam a determinação de coordenadas geográficas com uma precisão até 10 cm. Para as regiões autónomas estes ficheiros são disponibilizados no sistema de coordenadas *ITRF93*.

O pós-processamento dos dados serviu para a verificação e eliminação dos erros existentes no posicionamento das coordenadas no que respeita à distância horizontal (x) e z (altitude), sendo que a grande maioria dos erros estão associados a z. Através da edição dos dados, foi possível eliminar os que exibiam uma margem de erro superior a 0,50 e 1 m, de forma a maximizar o rigor, fruto de erros comuns na realização de um levantamento topográfico. Grande parte dos erros relacionados com este processo devem-se ao próprio utilizador, que ao proceder à determinação visual da costa tende a ignorar os erros das medições do GPS (Sousa, 2015). A figura 22 exemplifica e ilustra os dados com erro associado à distância horizontal, altitude e à altura elipsoidal (destacados nas colunas a azul), onde para a deteção dos erros existentes usei os valores demonstrados pela “*Elli_hei*” mas também pela avaliação qualitativa dos dados, como por exemplo os pontos 80 e 94 que registaram valores de “*Surv_Height*” de 19 e 100 m quando a recolha foi feita junto ao nível do mar.

Table												
PC_2015_07_22												
FID	Shape *	Name	Descri	East	North	Ellips_hei	Status	Constraint	Surv_Horz	Surv_Heig	Type	Warning
74	Point ZM	HIHH~34	fx	320542,56	3613422,297	2,636	Processed (dynamic)	No constraints	0,088	0,128	Intermediate Point	No
75	Point ZM	HIHH~35	fx	320548,49	3613426,166	2,632	Processed (dynamic)	No constraints	0,093	0,128	Intermediate Point	No
76	Point ZM	HIHH~36	fx	320554,32	3613430,116	2,615	Processed (dynamic)	No constraints	0,089	0,129	Intermediate Point	No
77	Point ZM	HIHH~37	fx	320560,47	3613432,781	2,573	Processed (dynamic)	No constraints	0,078	0,113	Intermediate Point	No
78	Point ZM	HIHH~38	fx	320564,49	3613437,161	2,523	Processed (dynamic)	No constraints	0,263	0,366	Intermediate Point	No
79	Point ZM	HIHH~39	fx	320569,05	3613440,044	2,584	Processed (dynamic)	No constraints	23,485	27,265	Intermediate Point	No
80	Point ZM	HIHH1	fx	320277,23	3613250,096	0,5	Processed (dynamic)	No constraints	17,832	19,495	Intermediate Point	No
81	Point ZM	HIHH2	fx	320272,42	3613254,167	-3,713	Processed (dynamic)	No constraints	23,454	21,14	Intermediate Point	No
82	Point ZM	HIHH3	fx	320265,81	3613255,595	-4,338	Processed (dynamic)	No constraints	22,393	21,966	Intermediate Point	No
83	Point ZM	HIHH4	fx	320266,23	3613251,872	-3,592	Processed (dynamic)	No constraints	0,488	0,729	Intermediate Point	No
84	Point ZM	HIHH5	fx	320262,26	3613252,321	-2,506	Processed (dynamic)	No constraints	23,836	20,84	Intermediate Point	No
85	Point ZM	HIHH6	fx	320256,35	3613245,821	-4,866	Processed (dynamic)	No constraints	15,414	20,306	Intermediate Point	No
86	Point ZM	HIHH7	fx	320251,44	3613243,873	-12,05	Processed (dynamic)	No constraints	14,681	18,747	Intermediate Point	No
87	Point ZM	HIHH8	fx	320242,80	3613242,96	-11,699	Processed (dynamic)	No constraints	15,067	16,863	Intermediate Point	No
88	Point ZM	HIHH9	fx	320237,03	3613243,746	-7,587	Processed (dynamic)	No constraints	17,286	16,371	Intermediate Point	No
89	Point ZM	HIHH10	fx	320225,51	3613236,151	2,895	Processed (dynamic)	No constraints	21,161	13,257	Intermediate Point	No
90	Point ZM	HIHH11	fx	320220,65	3613250,807	5,126	Processed (dynamic)	No constraints	6,051	8,232	Intermediate Point	No
91	Point ZM	HIHH12	fx	320214,54	3613249,669	7,406	Processed (dynamic)	No constraints	5,68	7,871	Intermediate Point	No
92	Point ZM	HIHH13	fx	320210,08	3613245,926	7,221	Processed (dynamic)	No constraints	5,815	7,955	Intermediate Point	No
93	Point ZM	HIHH14	fx	320211,37	3613239,23	7,248	Processed (dynamic)	No constraints	5,684	7,88	Intermediate Point	No
94	Point ZM	HIHH15	fx	320212,37	3613232,546	6,006	Processed (dynamic)	No constraints	173,105	100,044	Intermediate Point	No
95	Point ZM	HIHH16	fx	320213,02	3613225,809	4,79	Processed (dynamic)	No constraints	4,74	5,789	Intermediate Point	No
96	Point ZM	HIHH17	fx	320213,20	3613218,959	4,868	Processed (dynamic)	No constraints	6,237	3,493	Intermediate Point	No
97	Point ZM	HIF8	fx	320141,31	3613122,458	12,29	Processed (dynamic)	No constraints	0,17	0,167	Intermediate Point	No
98	Point ZM	HIF9	fx	320145,28	3613118,869	12,237	Processed (dynamic)	No constraints	0,193	0,188	Intermediate Point	No
99	Point ZM	HIF10	fx	320150,22	3613114,906	12,245	Processed (dynamic)	No constraints	0,18	0,178	Intermediate Point	No
100	Point ZM	HIF11	fx	320155,11	3613110,971	12,222	Processed (dynamic)	No constraints	0,182	0,18	Intermediate Point	No

Figura 22 - Exemplo de dados topográficos recolhidos com erro associado (azul).

Este levantamento teve o objetivo estratégico de facultar uma medição o mais precisa possível das cotas correspondentes às novas intervenções de engenharia pesadas efetuadas recentemente no sector central da baía do Funchal. Estas intervenções transformaram por completo este troço costeiro.

Após a aquisição dos dados de toda a extensão da linha de costa e das novas estruturas, foi necessário através da edição da *shapefile* do município do Funchal (em *Arcgis*), corrigir esse traçado, visto que na *shapefile* fornecida pela DROTA estas intervenções não estavam projetadas, e os dados altimétricos estavam incorretos. Foi redefinida a linha de costa artificial e concretizar a substituição e correção das cotas associadas (em *Arcgis*). Definitivamente a não existência deste novo traçado da linha de costa funchalense implica que as cotas ali existentes (altimetria da *shapefile*) sejam obsoletas, ou seja, estas áreas anteriormente registavam cotas de 0 m (mar) e hoje podem ter vários metros. Assim, com a redefinição da linha de costa através dos dados recolhidos por levantamento topográfico, foi possível criar um MET, atualizado, em *software Arcgis*, com as cotas corretamente associadas a estas estruturas no centro do Funchal e em pequenas estruturas pertencentes a hotéis (praias, cais de acesso e zonas balneares artificiais), permitindo a obtenção de resultados (cotas) mais ajustadas com a realidade.

A Figura 23 mostra um excerto de cada troço de linha de costa, com o objetivo de mostrar com clareza as diferenças encontradas entre os dados altimétricos inicialmente tratados (fornecidos pela DROTA - à esquerda) e os dados adquiridos (levantamento topográfico - à direita). É possível visualizar também a nova delimitação da linha de costa, resultante das intervenções no litoral da cidade. Este troço compreende a zona da Barreirinha, praia de Santa Maria e praia do Toco, na Zona Velha da Cidade (Pode-se complementar com a visualização dos Anexos 6,7 e 8).



Figura 23 - Exemplo comparativo entre os dados fornecidos pela DROTA (esquerda) e após levantamento topográfico (direita).

Infelizmente alguns dados acabaram por se corromperem, sem que consiga justificação para tal, mas o que não impossibilitou o estudo visto que na área portuária e central da cidade, onde haviam sido construídas novas estruturas, foi possível processar os dados na *shapefile*, acrescentando rigor ao estudo. Em relação à zona entre o Hotel *Cliff Bay* e o Gorgulho, apesar de os dados terem sido corrompidos, o que se salvaguardou foram alguns registos pontuais efetuados em folhas de rascunho, das cotas dessas áreas de acesso ao mar, possibilitando a inclusão de tais cotas no MET.

3.2. Os dados da agitação marítima

Na Madeira existem 4 estações ondógrafo, todas da responsabilidade da Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira (APRAM); Funchal, Caniçal, Porto Moniz e Porto Santo, as duas primeiras na costa sul da ilha.

A bóia do Caniçal, situada nas coordenadas $32^{\circ} 43' 12'' \text{N}$, $16^{\circ} 43' 42'' \text{W}$ e a uma profundidade de 108 m, aproximadamente 1600 m e com exposição a leste, não refletindo a situação de agitação marítima que se regista na frente ribeirinha do Funchal. Além disso, muitas eram as falhas nos dados, o que afetaria o rigor dos resultados.

Tendo em conta a área de estudo selecionada, a estação ondógrafo do Funchal foi a escolhida.

A estação ondógrafo do Funchal está geograficamente localizada (Fig.24) a $32^{\circ} 37' 06'' \text{N}$, $16^{\circ} 56' 30'' \text{W}$ e a uma profundidade de 100 metros, afastada aproximadamente 1600 m da linha de costa, com exposição a todos os quadrantes.

Os dados referentes à bóia ondógrafo do Funchal foram disponibilizados pela Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira (APRAM) e dizem respeito a um período de 18 anos (1996-2013). Estes serviram para o estudo da agitação marítima e para a verificação de ocorrência de valores extremos de ondulação.

Os dados disponíveis têm início no mês de novembro de 1996 e terminam no mês de dezembro de 2013. Os períodos de registo das bóias são, geralmente, de intervalos horários de 3h (00h, 3h, 6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 21h), mas infelizmente as séries dos dados não são regulares, existindo ausência e descontinuidade de dados, isto é, não existem dados seguidos e completos de todas as horas do dia nem de todos os dias do mês, nem mesmo de todos os meses do ano.



Figura 24 - Localização da bóia ondógrafo do Funchal. Fonte: Google Earth.

Estas falhas de dados devem-se provavelmente a erros e avarias técnicas nas bóias, que causam total inoperacionalidade da bóia devido a, segundo o Instituto Hidrográfico:

- Agressões naturais (agitação marítima) ou humana (abaloamento da bóia) que causam estragos e deslocam a bóia da sua posição, impossibilitando a recolha e transmissão de dados.
- Períodos de manutenção ou substituição das bóias por parte da entidade responsável (APRAM).
- Dificuldades na comunicação telemétrica com a bóia ou com a componente terrestre, que provoca atrasos na atualização dos dados.

É necessário salientar que, em determinados dias, a bóia ondógrafo registou dados de hora a hora e em certos dias ocorreram vários registos dentro da mesma hora. Esta situação é explicada pela ocorrência de agitação marítima (moderada a extrema), em que a ondulação superou largamente os limites definidos (3 m e 5 m) e que pela sua duração, superior a um ou mais dias suscita interesse, por parte da entidade que gere os procedimentos de recolha alargada do registo da altura das ondas, tendo em conta a possibilidade de ocorrência de temporal.

Para o estudo do clima de agitação marítima foram utilizados os seguintes parâmetros de onda:

Altura significativa – H_s (m): Médias do terço mais elevado da altura das ondas que foram registadas durante o período da observação. Corresponde aproximadamente à avaliação visual da altura das ondas.

Altura máxima – H_{max} (m): Máxima altura de onda registada durante o período de observação.

Período Médio – T_z (s): Média dos períodos observados no registo. Representa o período típico das ondas registadas durante o período de observação.

Período Máximo T_{max} (s): Máximo período de onda registado durante o período de observação.

Período de Pico – T_p (s): Período correspondente à banda de frequência com o máximo valor de densidade espectral. É representativo das ondas mais energéticas presentes no registo.

Direção Média – Dir ($^\circ$): Direção média correspondente ao período de pico. Representa a direção de propagação das ondas mais energéticas. É usualmente medida a partir do Norte, no sentido dos ponteiros do relógio.

Nos dados tratados, entre setembro de 1996 e dezembro de 2013 (Quadro 2), foi feita uma contabilização dos meses em que não existem dados durante o ano marítimo. Em 13 meses não existem registos de dados. Estas falhas não comprometem o estudo, mas a existirem contribuiriam para uma avaliação mais completa, porque desses 13 meses em falta, 8 são meses contidos em pleno inverno marítimo. Por essa razão optou-se por efetuar uma análise a jornais de edição diária regionais que tenham reportado ocorrências e notícias sobre fenómenos extremos marítimos, nos períodos contidos em inverno marítimo, com o intuito de complementar a informação disponível no estudo destes fenómenos e para possibilitar uma catalogação e identificação de eventos mais significativos por meio de registos fotográficos, históricos e relatados na comunicação social.

Quadro 2 - Quadro da disponibilidade dos dados/mês, por ano marítimo, da bóia ondógrafo do Funchal, no período 1996-2013. Dados fornecidos por Administração dos Portos da Madeira-APRAM.

Ano	Mês												
1996	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	Dados
1997	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	Existentes
1998	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	Inexistentes
1999	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2000	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2001	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2002	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2003	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2004	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2005	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2006	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2007	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2008	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2009	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2010	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2011	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2012	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	
2013	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ag	

3.2.1. As fontes dos dados

Além dos dados relativos à bóia ondógrafo do Funchal, muito úteis para uma análise do clima de agitação marítimo da faixa costeira meridional da ilha da Madeira, tive acesso a um outro conjunto de dados referentes a variáveis físicas, sociais e administrativas da ilha da Madeira e de grande utilidade para o enquadramento deste género de eventos. Estes dados foram disponibilizados pela Direção Regional do Ordenamento do Território e Ambiente (DROTA).

3.2.2. O tratamento dos dados

A análise dos dados referentes à ondulação, com o propósito de caracterizar o clima de agitação marítima na costa sul da Madeira, foi elaborada com base em resultados obtidos por tratamento estatístico de alguns parâmetros de onda (H_s , H_{max} , D_{ir^2}), com especial foco no inverno marítimo (início em setembro e final em março).

Inicialmente e após a ordenação dos dados, o tratamento estatístico de cada parâmetro de onda realizou-se individualmente em folhas de cálculo no *software Excel*, na qual foram

calculados os valores médios para cada parâmetro, a frequência relativa e os valores absolutos relativamente à H_s e H_{max} .

Um dos objetivos do presente estudo é a definição de temporal para a costa sul da Madeira. Para o litoral ocidental e meridional de Portugal continental, são considerados $H_s > 5\text{m}$ e $> 3\text{m}$, respetivamente (Pita e Santos, 1989; Costa, 1994).

Para avaliar qual o valor a considerar para temporal na bóia ondógrafo do Funchal, os dados de H_s foram ordenados e calculados os percentis considerou-se o percentil 95 para a definição de temporal e o percentil 99 para a definição de temporal de grande magnitude. Com base nestes critérios foram estudados e analisados os eventos em que a H_s ultrapassou o valor dos percentis 95 e 99, num período de pelo menos 3 dias, durante o inverno marítimo. Dos 32 eventos significativos com potencial de originar galgamentos, foram estudados 10 temporais. A justificação para a escolha destes temporais, deveu-se a questões de magnitude e duração, ou seja, de todos os temporais identificados, estes 10 enquadram-se nos critérios pré-estabelecidos, os temporais que tivessem registos de altura de onda acima dos valores dos percentis 95 e 99 com uma duração mínima de 3 dias por evento.

O estudo dos temporais foi complementado com a análise sinótica da circulação atmosférica desencadeante, contribuindo para a definição das situações tipo, fundamentais também para previsão e alertas aos órgãos de decisão política bem como aos utentes da faixa marítima. Esta análise sinótica foi efetuada a título exemplificativo apenas para alguns temporais, sendo que a disponibilidade de cartas sinóticas que contemplam a região e a área circundante nem sempre está disponível, especialmente para os temporais ainda na década de 1990. Assim, a caracterização da dinâmica sinótica atmosférica não pode ser completada como seria desejável.

O objetivo de mostrar a proveniência da ondulação, ou seja, a direção média associada ao período de pico dos meses escolhidos com ocorrência de temporal marítimo, foi também considerada. Dessa forma o *software open-source Grapher 8* foi utilizado, visto ser uma ferramenta mais precisa e adequada para a criação de *plots* que visam demonstrar a proveniência de fluxos direcionais. Este *software* serviu para a ilustração dos episódios de temporal previamente selecionados e facilitou da mesma forma, a criação de um *plot* geral com todos os dados relativos à direção média associada ao período de pico de toda a série de

dados da bóia ondógrafo do Funchal, facilitando a caracterização geral da proveniência da ondulação registada entre novembro de 1996 e dezembro de 2013.

É importante destacar que no tratamento dos dados registados pela bóia ondógrafo do Funchal, especialmente aquando da elaboração no *Grapher 8*, dos *plots* de proveniência da ondulação, foi necessário redefinir e dividir os valores dos pontos cardeais e dos pontos colaterais, para que se ajustassem ao objetivo de enquadrar os dados direcionais da ondulação em intervalos mais coerentes. Os pontos cardeais e colaterais foram divididos de 22,5° em 22,5°, tendo início a partir de 90° E, visto que a predominância retratada nos registos analisados e nos *plots* demonstrou que em poucas ocasiões a bóia exibiu registos inferiores a 90°.

Após a introdução destes valores (cerca de 41076 dados direcionais) numa tabela de propriedades do *Grapher 8*, tornou-se mais simples identificar a proveniência dos temporais na costa sul da Madeira e especialmente os que incidem diretamente sobre o litoral do Funchal.

3.2.3. A análise das notícias de jornal

A inexistência de dados da bóia ondógrafo do Funchal, durante os invernos marítimos do período analisado, foi complementada com dados qualitativos registados pelos meios de comunicação social regional, em suporte de papel (jornais) nomeadamente dois jornais diários da região (Diário de Notícias da Madeira e o Jornal da Madeira). Estes reportam sobretudo os impactes de episódios extremos de ondulação e contribuem efetivamente para uma melhor perceção dos danos e estragos causados em alguns dos eventos extremos referidos

Foram utilizadas apenas as notícias ocorridas nos períodos em que não existem registos de parâmetros na bóia ondógrafo do Funchal. Os períodos para consulta na imprensa regional foram definidos aquando do tratamento estatístico efetuado sobre os dados da bóia ondógrafo, ainda no início do estudo.

O período pormenorizado dos dados em falta constatado está visível no quadro 2, sendo possível enumerar 13 meses (8 em inverno marítimo), entre setembro de 1996 e dezembro de 2013, em que por diversas razões a bóia não registou qualquer tipo de dados. Considerou-se importante efetuar uma pesquisa nos dois diários mais significativos na imprensa regional,

sobre a ocorrência de eventos meteorológicos adversos em particular no mar e no litoral da cidade do Funchal.

O facto de a imprensa servir (não só) para referir e evidenciar a ocorrência destes fenómenos, para além das entidades oficiais, contribuiu efetivamente para uma melhor perceção dos danos e estragos causados em alguns dos eventos extremos referidos.

Nesta pesquisa informativa o objetivo focou-se na procura de palavras-chave consideradas relevantes para a pesquisa em causa, tais como (vento forte; agitação marítima; ondulação forte; inundações; galgamentos; tempestade) associadas a eventos deste género, onde se pudesse retirar o máximo de informação possível que corroborasse o uso de determinadas notícias e a extração da informação contida nas mesmas.

Limitou-se a procura de informação para apenas os meses que se encontram em regime de inverno marítimo, ou seja de setembro a março. Convém salientar que os jornais diários analisados são jornais com tiragem exclusivamente regional, que foram consultados no Arquivo Regional e Biblioteca Pública da Madeira (ABM) e que as tiragens de ambos os jornais encontravam-se em papel e em formato digital, pois uma decisão do governo regional ordenou que todos os jornais impressos fossem digitalizados para não existir o risco de se perderem mais exemplares em situações de inundações, como ocorreu em fevereiro de 2010. As restantes edições que interessavam a esta pesquisa ou foram inutilizadas ou não continham notícias úteis ao estudo. Na mesma ordem de pensamento e aliando as notícias recolhidas e analisadas, pôde completar-se a informação referente aos temporais e consequentes impactes no litoral, bem como os danos ocorridos no litoral (materiais e pessoais).

A caracterização dos eventos noticiados pela imprensa regional foi transcrita para uma base de dados e sintetizada num quadro que reúne toda a informação recolhida das cerca de 60 notícias pertencente ao período em estudo.

3.2.4. O modelo para o *runup* e elaboração cartográfica

O cálculo e a determinação do volume da massa de água que atinge a linha de costa em situações de temporal extrema é uma metodologia adequada ao objetivo de quantificar as consequências de temporais extremos e os seus efeitos na linha de costa ao explorar a

possibilidade de ocorrência de galgamentos e inundações. O *runup* é um importante parâmetro para determinar eficientemente a extensão das inundações costeiras resultantes de temporais extremos (Melby *et al.*, 2012).

No caso da área de estudo em questão, grande percentagem do litoral apresenta-se fortemente artificializado (60,55% do litoral é artificializado), com presença de inúmeros paredões marítimos (*seawalls*), o que direciona esta formulação para uma metodologia que aborda o efeito da ondulação ao embater e quebrar em áreas artificializadas.

A metodologia associada ao cálculo do espraio (*runup*) em litorais rochosos e pequenas praias, com paredões marítimos é abordada por vários autores que expressam a sua aplicabilidade de acordo com as características presentes no local de estudo e das condições dos eventos tratados. Numa abordagem estratégica de defesa costeira, Meer (2002) faz alusão à discrepância existente nos declives encontrados em obras de proteção costeira, referindo que os valores não são equivalentes em toda a extensão das construções, influenciando a dispersão do volume e nível de água em situação de subida do nível do mar e galgamento. Esclarece-nos também para a importância do grau de incidência das ondas e para as diferenças de impacto resultantes de dois tipos de onda: ondas de crista curta e ondas de crista longa. Neste tipo de situações são formuladas várias equações onde se ajustam as variáveis de maneira a eficazmente se comprovarem os resultados de *runup* e *overtopping* (Meer, 2002).

Num estudo desta espécie a aplicabilidade do(s) modelo(s) utilizado está, ou deve estar, dependente das condições morfológicas da linha de costa, dos parâmetros de onda e das estruturas de proteção costeira presentes. Em Tamada *et al.*, (2010) várias abordagens e formulações de outros autores são sintetizadas e analisadas, dentro desta temática de galgamentos e espraio em litorais artificializados com paredões marítimos, o que evidencia o alcance deste género de modelo na obtenção de uma validação ajustada às características formuladas.

Formulações existentes para determinação do *runup* (Tamada *et al.*, 2010), refira-se a título de exemplo as seguintes equações:

(i) de CEM (2002)

$$R_{2\%} / H_s = 1.6\xi_p; \quad \xi_p \leq 2.5$$

$$R_{2\%}/H_s = -0.2\xi_p + 4.5; \quad 2.5 < \xi_p < 9.0$$

$$\begin{aligned} R_s / H_s &= 1.35\xi_p & \xi_p \leq 2.0 \\ R_s / H_s &= -0.15\xi_p + 3.0; & 2.0 < \xi_p \leq 9.0 \end{aligned}$$

$R_{2\%}$ representa o valor excedido das alturas de *runup* em 2%. R_s corresponde ao valor significativo de *runup* (interpretado como o valor médio do terço mais elevado dos runups). H_s corresponde à altura significativa de onda na extremidade inferior da estrutura. ξ_p corresponde ao parâmetro de similaridade em zona de surf, definido pelo uso de H_s e pelo período de pico espectral.

(ii) de TAW (2002) mostra as seguintes equações:

$$\begin{aligned} R_{2\%} / H_{m^0} &= 1.75\xi_m \\ R_{2\%} / H_{m^0} &= 4.3 - 1.6 / \sqrt{\xi_m} \end{aligned}$$

(iii) de De Waal e van der Meer (1992):

$$\begin{aligned} R_{2\%} / H_{m^0} &= 1.5\xi_p; & \xi_p \leq 2.0 \\ R_{2\%} / H_{m^0} &= 3.0 & 2.0 < \xi_p \end{aligned}$$

(iv) de Mase *et al.*, utilizou as seguintes formulações de *runup* para previsão de galgamentos:

$$\begin{aligned} R_s / H_s &= 0.25 + 1.10\xi_p; & 0 < \xi_p \leq 2.0 \\ R_s / H_s &= 3.00 - 0.15 \xi_p; & 2.2 < \xi_p < 9.0 \\ R_s / H_s &= 1.65 & 9.0 < \xi_p \end{aligned}$$

De acordo com Tamada *et al.*, (2010) o uso da primeira equação formulada por CEM (2002) e a equação utilizada por Mase *et al.*, (2003), para estimação da altura de *runup*, é fundamental o conhecimento da altura de onda que atinge a extremidade inferior de um paredão marítimo (*seawall*). No caso da sua investigação, Tamada *et al.*, (2010) informa que as mesmas fórmulas não se adequam como metodologia de análise em vários paredões distribuídos pelo Japão, devido a estes se encontrarem muito próximos de terra, dificultando a definição e obtenção de um valor correspondente à altura de onda que atinge as extremidades inferiores dos paredões.

Segundo Tamada *et al.*, (2010) a veracidade de cada uma é comprovada, tendo em conta uma análise aos padrões das ondas (tem em conta o carácter aleatório da ondulação) e da real assunção de cada uma ao local escolhido, dando especial ênfase ao ângulo do declive existente nas estruturas costeiras.

O modelo utilizado foi baseado no mesmo utilizado por Nakamura *et al.*, (1972) e tem a denominação de *runup* ($R2\%$) - espraio, entendido como o nível altimétrico máximo instantâneo atingido pela água, após a onda colapsar no perfil de praia, em relação ao nível da maré (Trindade, 2010).

A opção recaiu sobre este modelo devido à aplicabilidade à área em estudo, especialmente pela grande percentagem de artificialização deste litoral, muito adequada a este género de modelação e às variáveis incorporadas. O facto de igualmente ter acesso aos parâmetros que incorporam a fórmula possibilitou a escolha sobre este modelo em específico. É evidente que o seu uso tem melhor aplicação em áreas com paredões marítimos (*seawalls*), mas na linha de costa funchalense existem algumas praias que foram inseridas nesta modelação por serem tão estreitas e se encontrarem torneadas por elementos artificiais. Relativamente à maior praia do Funchal (e ilha da Madeira), a praia Formosa (1 km de extensão), esta foi inserida nas áreas modeladas de acordo com o modelo utilizado. Esta escolha justifica-se pois esta é uma praia estreita (largura média entre 25 e 27 m em alguns troços e 10 m noutros, com declives médios a rondar os 10%) onde os elementos artificiais presentes estão relativamente próximos da zona de espraio das ondas, tornando-a uma praia que frequentemente origina transtornos aos proprietários dos espaços de restauração lá situados, devido a episódios de temporal.

A escolha do modelo a utilizar para calcular o espraio da onda em sistema de arriba ou paredões marítimos será a mesma que utilizada e descrita por Nakamura *et al.*, (1972):

$$R2\% = 2,99 - 2,73 \exp (-0,57 \times \tan(\beta) / (H_0 / L_0)^{1/2})$$

em que:

$R2\%$ - espraio (m)
 $\tan(\beta)$ - declive da face da arriba,
 H_0 - altura da onda ao largo (m),
 L_0 - período da onda (s)

Esta equação foi alterada de modo a ser incluído e somados os valores correspondentes à Sobrelevação do Nível do Mar de Origem Meteorológica (SNMOM) calculado para um período de 5 anos (2008-2013) com os dados relativos às marés calculadas pelo Departamento de Engenharia Geográfica da Faculdade de Ciências de Lisboa e com os dados previstos pelo Instituto Hidrográfico Português para o porto do Funchal. Foi igualmente adicionado o valor

calculado de Nível Médio de Preia-mar Viva (NMPMV) para o ano de 2010 com dados retirados do Instituto Hidrográfico (IH).

Assim a equação utilizada para o cálculo do *runup* ficou com a seguinte formulação:

$$R2\% = (2,99 - 2,73 \exp(-0,57 \times \tan(\beta) / (H0 / L0)^{1/2}) + SNMOM + NMPMV$$

em que:

$R2\%$ - espraio (m)

$\tan(\beta)$ - declive da face da arriba ou praia

$H0$ - altura da onda ao largo (m), foi usada H_{max}

$L0$ - período da onda (s), foi usado o valor médio

SNMOM - sobrelevação do nível do mar por origem meteorológica

NMPMV - nível máximo de preia-mar viva

Com base nesta equação tratou-se de calcular os níveis de inundação, associados aos valores de espraio, no litoral da cidade do Funchal, tanto em áreas naturais como em áreas com forte influência antrópica, com recurso ao programa *Excel* e posteriormente à ferramenta *raster calculator* do *ArcGis 10.3*.

Para poder projetar estes resultados foi preciso, antes de mais, juntar as várias componentes necessárias para a sua elaboração. Foi fundamental e indispensável criar em formato *raster* um ficheiro alusivo ao Modelo de Elevação do Terreno (MET) de uma secção do litoral do Funchal. Esta secção foi criada com direção E - O, e com largura máxima de 80 m, direção S - N, de forma a simular o espraio das ondas do oceano em situações de temporal. A opção da secção recortada com uma largura máxima de 80 m deveu-se ao facto da linha de costa não ser toda homogénea, ou seja, em algumas secções do litoral existem arribas, seguidas de pequenas praias de calhau rolado, muralhas e paredões de betão que criam um contraste, natural e antrópico, variado no que respeita às condições estruturais propícias a galgamentos e inundações por ação marítima, o que poderia interferir com a modelação e projeção dos resultados do *runup* na linha de costa. Assim, para não haver riscos que pudessem influenciar os efeitos espaciais do *runup*, foi realizado o procedimento (acima referido) para maximizar o rigor relativo ao nível de inundação esperado.

Entretanto foi efetuado um FILL ao primeiro ficheiro *raster* criado. Foi então elaborado o cálculo na função *raster calculator* (*Arcgis 10*) para saber que áreas seriam inundadas de

acordo com o valor obtido através da resolução da equação referente ao modelo de *runup* utilizado.

Foi calculado um cenário de inundação para sistemas com predominância de paredões marítimos e muralhas com um ângulo de declive de 89° , pois é o mais indicado para demonstrar a inclinação das arribas, da predominância de paredões e muralhas existentes na linha de costa do Funchal. Neste cálculo o valor utilizado foi o da tangente do ângulo em questão. Note-se que o valor angular de 89° foi utilizado ao invés do valor angular 90° porque segundo as tabelas trigonométricas, o 90° não possui valor de tangente associado ou calculado. A tangente de $89^\circ = 57,28$.

Esta simulação foi efetuada tendo em conta a ocorrência de um cenário extremo no litoral do Funchal, potenciado por agitação marítima extrema com ondas com alturas elevadas, visando assim estimar as áreas com maior vulnerabilidade e potencial de inundação costeira.

4. Clima de agitação marítima

As variações da superfície oceânica resultam das marés, fenómenos previsíveis já que dependem da atração interplanetária e das ondas resultado da interação oceano-atmosfera, em que a circulação atmosférica é determinante e variável.

No arquipélago da Madeira, o regime de marés tem um carácter semidiurno com uma ocorrência quase regular em todo o arquipélago. Ocorrem diariamente duas preia-mares e duas baixa-mares. As correntes de maré fazem-se sentir, segundo o Instituto Hidrográfico (1979), no arquipélago, durante os períodos de enchente e de vazante sendo mais fortes aquando da ocorrência de marés vivas, o que lhes confere uma maior velocidade especialmente nas pontas mais salientes da ilha.

No Funchal as correntes que mais se sentem são as correntes de enchente (Pereira, C. N., 1989), que se dirigem para ENE, comparativamente à linha de costa. Em relação às correntes de vazante, no Funchal, esta são basicamente nulas, seguindo para ENE e W (Pereira, C. N., 1989).

O nível médio das águas foi, para o ano de 2010, de 1,40 m acima do zero hidrográfico (ZH), com a maré viva a atingir um valor máximo absoluto de 2,67 m (01 de março) e a maré morta 0,11 m. A amplitude máxima da preia-mar corresponde a 2,5 m (preia-mar viva = 2,67 m; baixa-mar viva = 0,17 m; Fig. 24. A amplitude média tem um valor de 1,48m. Respetivamente à amplitude mínima das marés mortas, o valor registado é de 0,55 m (preia-mar morta = 1,65m: baixa-mar morta = 1,1 m, Fig. 25). Estes foram os valores observados pelo departamento Engenharia Geográfica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, para o marégrafo do Funchal. O valor do zero hidrográfico (zh) para o Funchal é de 1,40 m. Como para o presente estudo importa ter em conta os valores extremos que o nível do mar pode atingir em relação com o nível médio do mar, considerou-se que a maré pode elevar o nível médio do mar em 1,27 m (amplitude máxima de maré viva registada - valor zero hidrográfico).

O estudo do clima de agitação marítima em Portugal teve os primeiros esboços no início do século XX, por intermédio de alguns resultados apresentados por Lautensach, em Ribeiro, O. *et al.*, (1987), que definiu e classificou a proveniência de propagação das ondas no Cabo

Carvoeiro e no Cabo da Roca, apesar dos registos serem de períodos curtos. Porém, é a partir da década de 50 do século XX que se inicia de forma sistemática o estudo da agitação marítima por toda a costa portuguesa (Lautensach, 1932 in Ribeiro O. *et al.*, 1987).

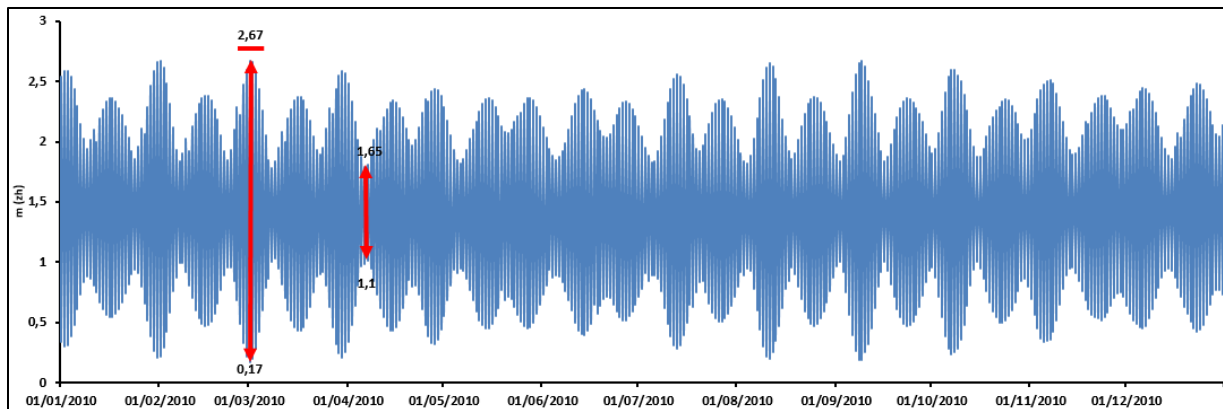


Figura 25 - Altura de marés medidas acima do zero hidrográfico durante o ano de 2010, no marégrafo do Funchal. Fonte: FCUL.

A partir do ano de 1979, o Instituto Hidrográfico deu início à aquisição instrumental e sistemática de dados sobre agitação marítima em vários pontos do litoral português, o que permitiu efetuar uma recolha sistemática de informação instrumental sobre a posição relativa da superfície oceânica e assim simplificar o cálculo dos parâmetros de onda comumente utilizados no estudo da agitação marítima, caso da H_s , H_{max} , Dir^e (Trindade, 2010). De notar que, até ao ano de 1996, alguns dos dados eram recolhidos por bóias não direcionais, o que dificultava a caracterização dos rumos da ondulação proveniente de largo (Trindade, 2010).

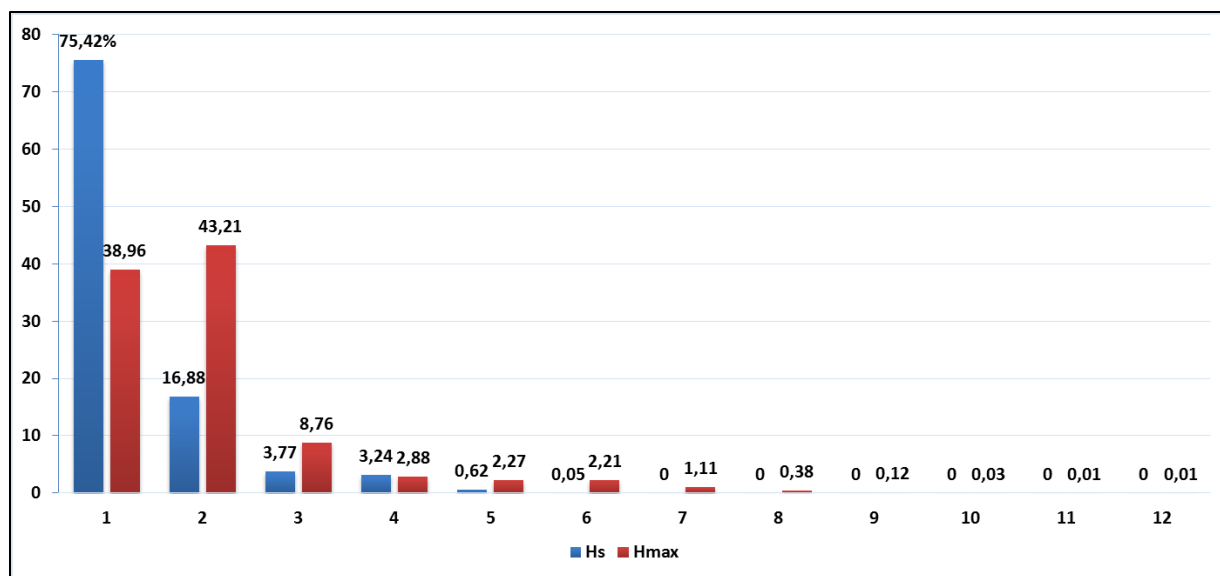
Os dados utilizados cobrem um período de 18 anos, de novembro 1996 a dezembro de 2013. Deu-se especial ênfase a alguns parâmetros de onda (H_s , H_{max} , Dir^e). Iniciar-se-á pela caracterização geral das ondas no período analisado, a que se segue a análise mensal dos invernos marítimos, permitindo selecionar os eventos extremos, cujos episódios serão tratados em pormenor. Será também definida a circulação atmosférica de superfície responsável por esses eventos, já que as ondas constituem o reflexo dessa circulação e dos gradientes barométricos (Ramos-Pereira, A. 2001). “O processo físico de geração da ondulação que chega ao litoral é complexo e envolve, em termos simplificados, a transferência de energia entre o vento (agente forçador) e a superfície do oceano” (Trindade, 2010, pág.13).

Através destes dados pretendeu-se alcançar uma série de resultados que contribuem para o estudo e caracterização do clima de agitação marítima no Funchal/Madeira, especialmente

considerando eventos extremos distintos que viabilizam a determinação de limiares, com base em modelos de previsão, numa definição e caracterização da suscetibilidade do litoral e da faixa ribeirinha do Funchal a galgamentos costeiros e inundações.

4.1. Análise das ondas no período de 1996 a 2013.

Utilizaram-se 123 228 dados da bóia ondógrafo do Funchal, referentes a 5269 dias de medições disponíveis do período em análise, que serviram para materializar uma análise



quantitativa dos parâmetros de onda estudados.

Figura 26 - Frequência (%) de Hs (a azul) e Hmax (a vermelho) na bóia ondógrafo do Funchal, entre 1996 e 2013). Fonte: APRAM.

A análise global mostra que a média das alturas significativas atinge 0,92 m e a média das alturas máximas registada atingiu 1,52 m, com uma direção média associada ao período de pico de 214,75°. Porém, estes valores médios mitigam a realidade, já que a H_s máxima registada foi de 5,60 m e a H_{max} foi de 11,80 m.

A H_s das ondas na bóia do Funchal é predominantemente de um metro. A análise das distribuições associadas à frequência da H_s demonstra que os valores registados mais frequentes são os ≤ 1 m, que ocorrem em 75,4% dos casos, sendo de 16,8% as situações em que H_s está compreendida entre 1 a 2m. Os valores superiores a 3m (de 3 a 6m) representam apenas 7,7% dos dados totais (41076; Fig. 26).

A análise da distribuição da frequência associada à H_{max} de onda (Fig.26) indica que 38,9% dos registos é ≤ 1 m e que em 43,2% das ocorrências as alturas de onda estão compreendidas

entre 1 e 2 m. As ondas com H_{max} entre 3 m e 11 m totalizam 17,8% dos registos. Dada a impossibilidade de apresentar um gráfico que ilustre toda a série de dados, juntam-se quatro exemplos, referentes a toda a série de registos, na figura 26 que é uma imagem contínua, dividida em 4 gráficos de forma a corretamente poder ilustrar a distribuição total dos dados.

A figura 26 ilustra bem a variabilidade anual dos valores de H_s e de H_{max} . Em 92,2% dos dias, a H_s é <a 2m. Podem existir períodos de cerca de 2 anos em que a H_s é inferior a 2 m, como durante os anos de 1999 e 2000, e outros em que a H_s ultrapassa por diversas vezes 4m, como sucede 2002, 2003, em 1997 e 1998 ou ainda em parte dos anos de 2010, 2012 e 2013 (Fig.27, A, B, C).

A H_{max} superior a 6m representa 1,83% dos registos, tendo atingido diversas vezes 8m e mais (67 registos distribuídos por 15 dias). Apesar de se situar numa área abrigada aos fluxos gerais do Atlântico Norte, a bóia ondógrafo do Funchal regista valores elevados de H_s e H_{max} .

Esta análise à frequência dos dois parâmetros de onda não é propriamente linear porque para se alterarem estes valores basta que ocorra um ou mais eventos com elevada magnitude. Mas isso só acontece num estudo de maior duração e com mais dados. Porém, o período utilizado pode considerar-se significativo.

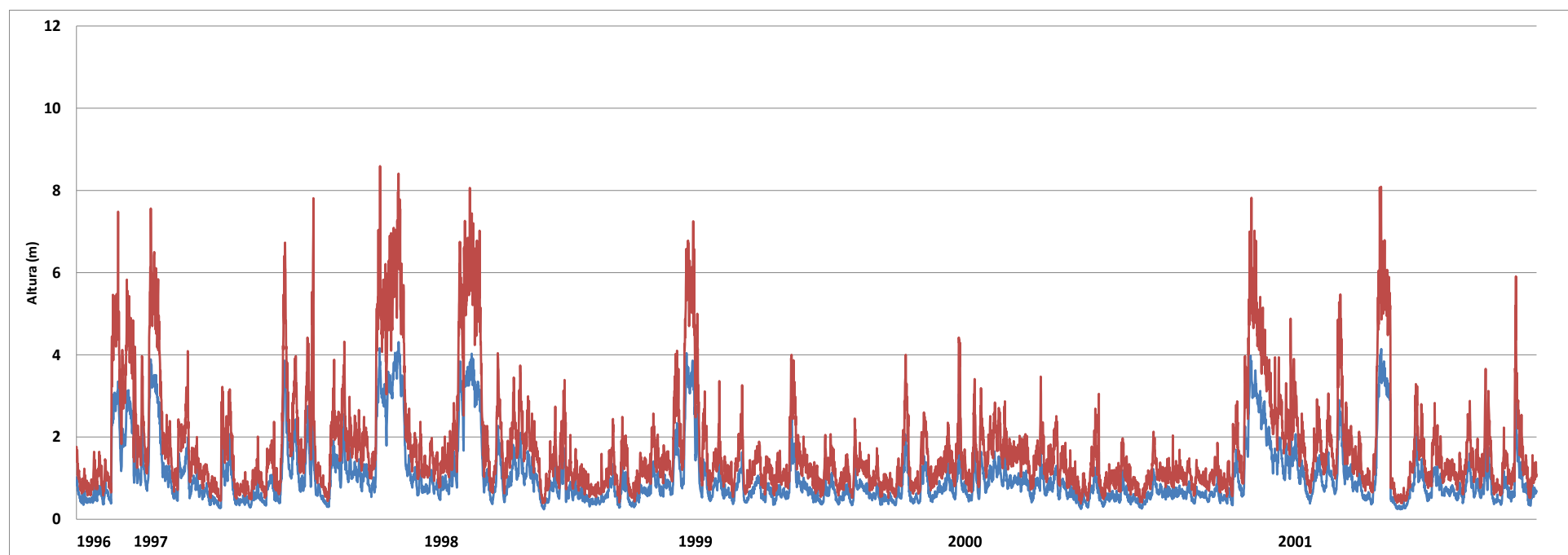


Figura 27 - Amostra gráfica da totalidade da série de dados (nov 1996 – dez 2013).

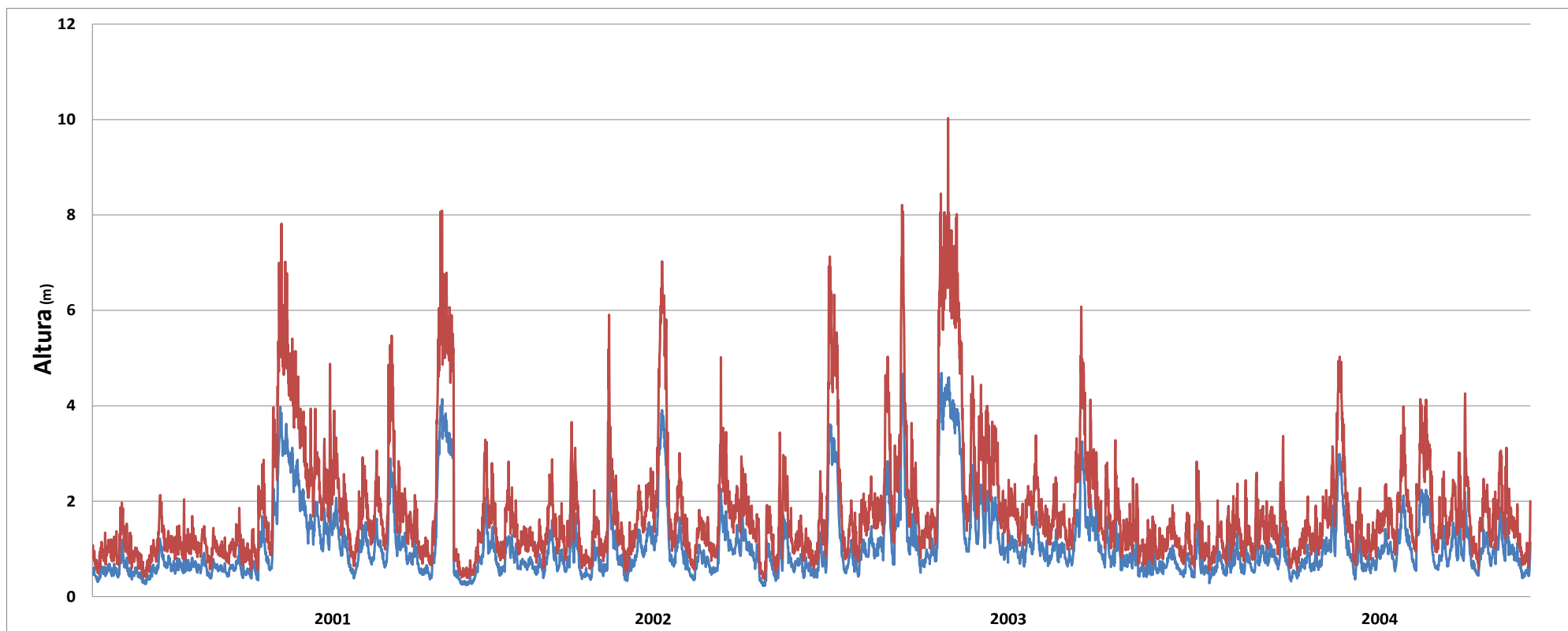


Figura 27 - (A) - Amostra gráfica da totalidade da série de dados (nov 1996 – dez 2013).

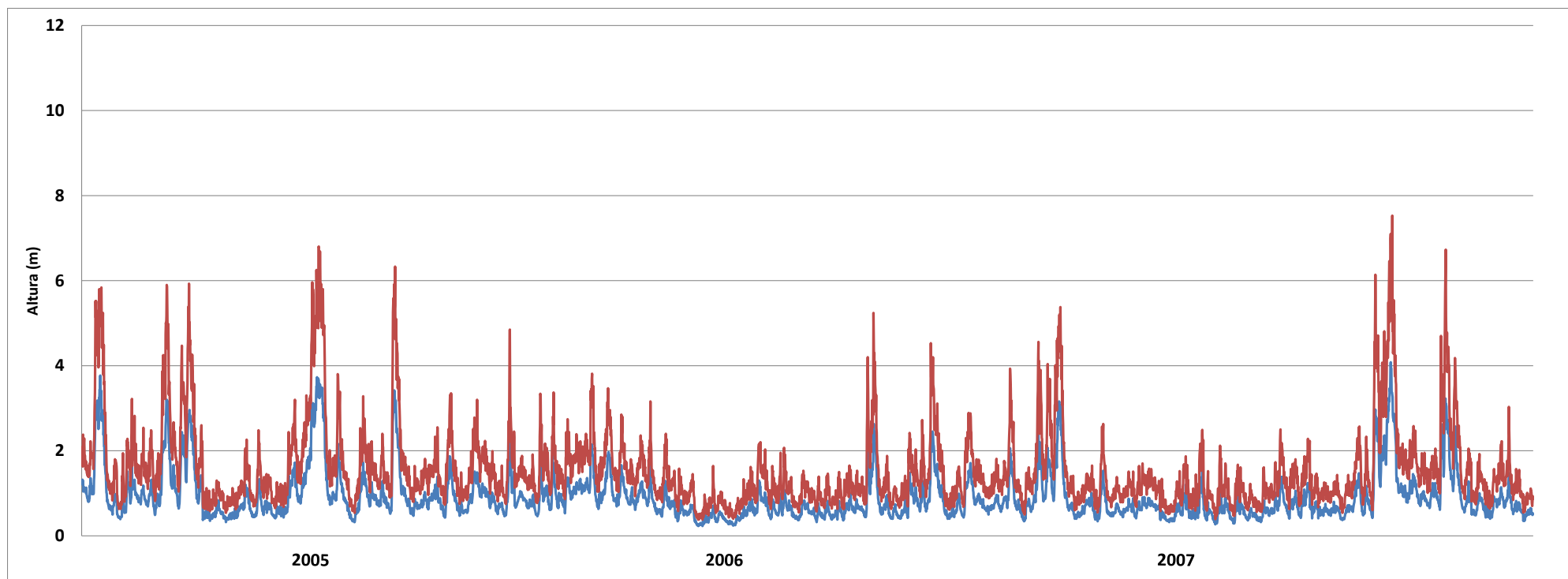


Figura 27 - (B) - Amostra gráfica da totalidade da série de dados (nov 1996 – dez 2013).

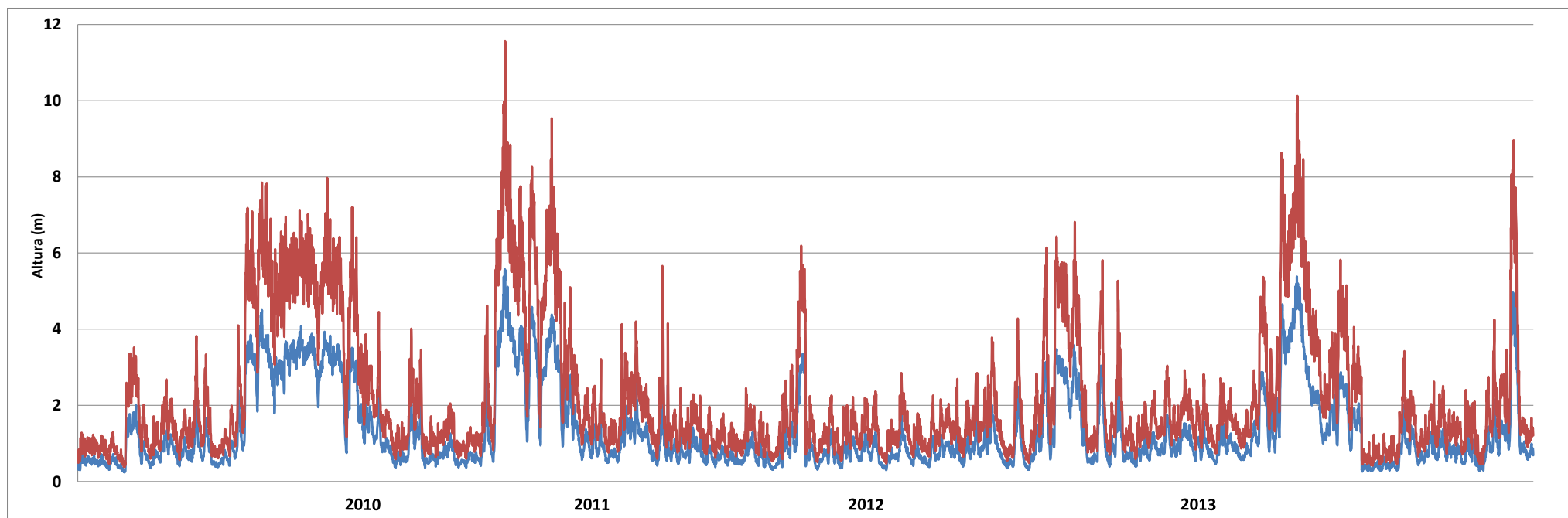
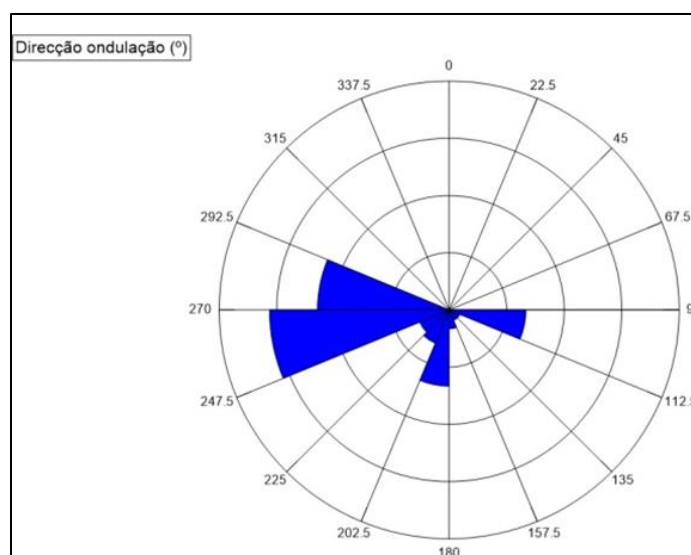


Figura 27 - (C) - Amostra gráfica da totalidade da série de dados (nov 1996 – dez 2013).

A predominância da direção da ondulação na costa sul é de W e SW. O valor médio da D_{ir} é de $214,75^\circ$ (Fig. 28) que engloba a totalidade dos dados referentes à direção da ondulação da bóia ondógrafo do Funchal, no período analisado.



**Figura 28 - Caracterização geral da direção associada à ondulação da bóia ondógrafo do Funchal (1996-2013).
Fonte: APRAM.**

A ocorrência de ondas proveniente do quadrante W (entre $247,5^\circ$ e $292,5^\circ$) corresponde a 16,10% dos dias. A dominância das ondas do quadrante W resulta da refração das ondas dominantes de NW, mas também, como se verá adiante, de ondas geradas pelo fluxo de W em posição latitudinal mais baixa. A ondulação de SSW (180° - 207°) representa 8,48% e pode ter origem no *swell*, originado por tempestades, segundo (Rusu, E. e Soares, C. G., 2012), mas como veremos adiante não se deve generalizar porque ocorrem temporais de SW relacionados com a circulação geral da atmosfera. A direção associada ao quadrante ESE (90° - 135°) ocorre em 3,13% dos dias (estas podem ser, igualmente, fruto de *swell* e de fenómenos de refração das ondas provenientes de SE, de acordo com (Rusu, E. e Soares, C. G., 2012).

4.2. Variação mensal

Num estudo deste género, em que a quantidade dos dados é relativamente extensa e atravessa um período temporal considerável, é normal considerarmos que os valores médios associados aos parâmetros de onda H_s e H_{max} serão significativos. Dessa forma foram

calculadas as médias totais de cada mês para avaliar como se comporta a variação mensal média.

Na figura 29, é possível evidenciar esta variação intermensal, através dos valores médios mensais para a totalidade do período analisado.

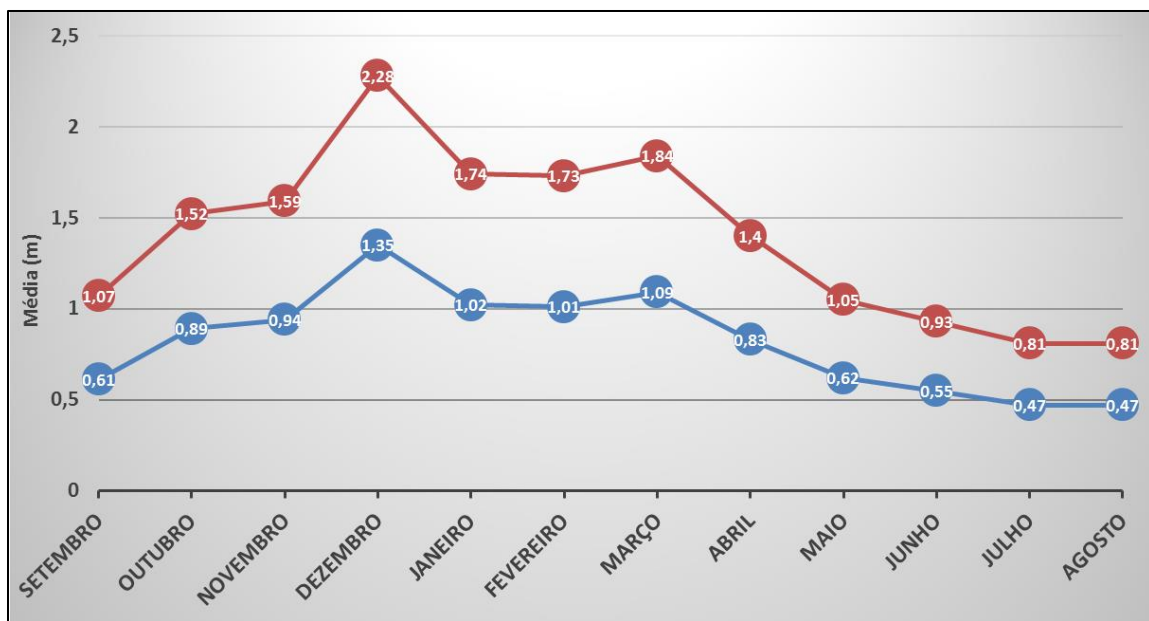


Figura 29 - Médias mensais totais de altura de onda do período em estudo (18 anos). A Hs a azul e Hmax a vermelho. Os valores no interior dos círculos correspondem à média mensal de cada mês no período analisado. Fonte: APRAM.

Com base nos resultados obtidos (Fig. 29), é possível identificar e caracterizar os meses com valores médios mais elevados para a bóia ondógrafo do Funchal.

Os valores médios mais elevados de H_s ocorrem no mês de dezembro, onde atinge 1,35 m, no mês de março 1,09 m, em janeiro 1,02 m e em fevereiro 1,01 m. Apesar de valores médios de H_s , estes valores dizem respeito aos meses com valores mais elevados, ainda que se possam considerar baixos. Nos restantes meses, como é possível constatar, não atingem valores considerados relevantes ou elevados.

Os valores médios de H_{max} mais elevados ocorrem no mês de dezembro, que atingem 2,28 m. Segue-se o mês de março com 1,84 m. No ano de 2001 e por conta de um temporal de grande magnitude que causou danos na bóia ondógrafo e a impediu de coletar dados normalmente, esta apenas registou dados durante os 5 primeiros dias deste mês, que evidenciou alturas de onda elevadas, contribuindo para um aumento das médias de H_s (2,88 m) e H_{max} (4,85 m). São

valores muito elevados mas podem induzir em erro devido à totalidade dos registos efetuados nesse mês, o que culminou numa média mais elevada do que a dos restantes meses. Segue-se o valor médio dos meses de janeiro (1,74 m) e fevereiro (1,73 m), mas que longe dos valores atingidos pelos meses de dezembro. Os valores mais baixos encontram-se, logicamente, nos meses de verão marítimo.

4.3. Dados dos invernos e verões marítimos

A análise efetuada aos dados da bóia ondógrafo foi distribuída por estações marítimas³ (Fig.30), nomeadamente inverno marítimo e verão marítimo. O período relativo ao inverno marítimo subentende-se como o período no qual a suscetibilidade de ocorrência de temporais é mais elevada devido a uma maior ocorrência de fenómenos atmosféricos que desencadeiam este tipo de eventos. Neste estudo definiu-se como inverno marítimo o período compreendido entre os meses de setembro e março, de forma a englobar e registar um maior número de eventos significativos, e o verão marítimo entre os meses de abril a agosto.

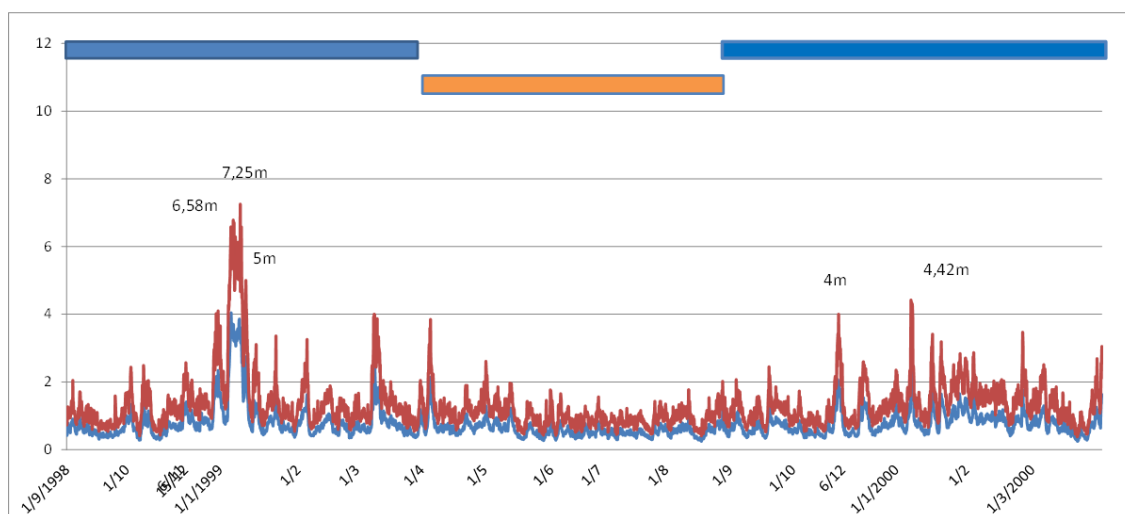


Figura 30 - Exemplo de alturas de ondas durante invernos e verões marítimos entre Setembro de 1998 a Março de 2000. (bóia ondógrafo do Funchal). As barras superiores indicam o inverno marítimo (a azul) e o verão marítimo (a amarelo). Fonte: APRAM.

³A opção de dividir a análise por estações marítimas (verão/inverno) foi tomada com o intuito de retirar o máximo de informação possível no que respeita à ocorrência de eventos destrutivos originados por agitação marítima. A ilusão de que os invernos são maiores que os verões deve-se à ocorrência de agitação marítima com H_s e H_{max} mais elevadas, culminando por isso num maior número de medições por parte da bóia ondógrafo.

Numa análise geral sobre estas estações marítimas e incidindo sobre a mais relevante para o estudo da agitação marítima, o período de inverno marítimo relativo ao Funchal apresenta valores médios de H_s de 1,10 m. A H_{max} atinge 1,86 m de valor médio para este período em questão. Em termos de valores máximos absolutos, a H_s atinge 5,56 metros (dezembro de 2010) e a H_{max} atinge 11,56 m (dezembro de 2010).

A mesma análise para o período do verão marítimo mostra-nos valores médios de H_s de 0,64 m, enquanto a H_{max} atinge 1,09 m. O valor absoluto de H_s atinge 5,43 m, enquanto para a H_{max} o valor absoluto máximo é de 11,80 m, sendo este valor o mais elevado de toda a série de dados da bóia ondógrafo do Funchal ocorrido temporalmente durante o mesmo evento de maior magnitude, em abril de 2008 (Fig.31).

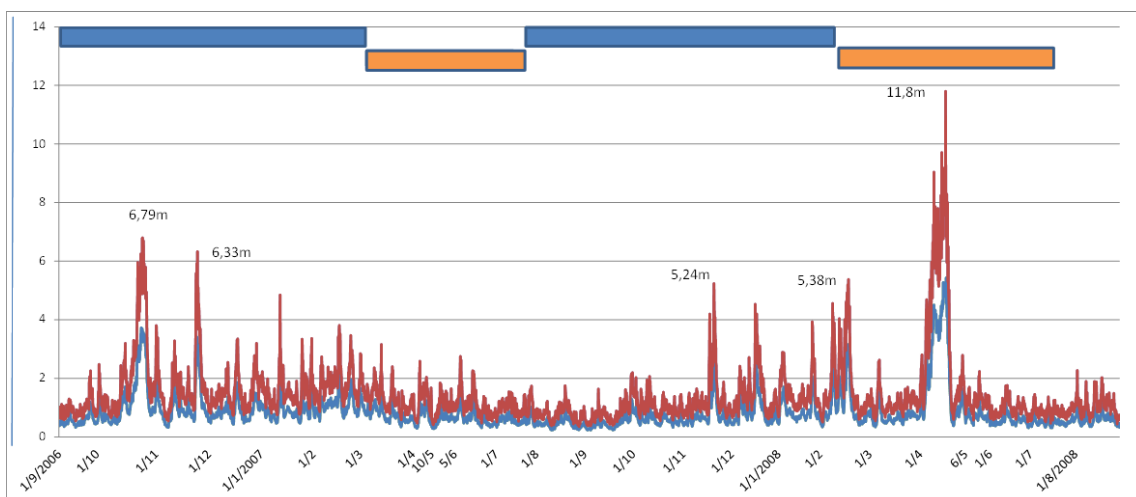


Figura 31 - Exemplo de alturas e ondas durante invernos e verões marítimos de setembro de 2006 a agosto de 2008 (bóia ondógrafo do Funchal). As barras superiores indicam o inverno marítimo (a azul) e o verão marítimo (a amarelo). Fonte: APRAM.

A caracterização e definição dos períodos de agitação marítima extrema ou de temporais têm grande importância social, financeira e para as estruturas de defesa costeira, particularmente as inúmeras estruturas e elementos expostos a inundações e galgamentos costeiros presentes na linha de costa. O caso do Funchal enquadra-se bem neste panorama apesar de, efetivamente, não ocorrerem temporais com elevada frequência e magnitude que possam causar avultados estragos no litoral, como por exemplo o que sucede com a costa ocidental de Portugal continental que por se encontrar diretamente exposta às condições conjuntas da variação dos gradientes barométricos entre as baixas pressões da Depressão da Islândia e as altas pressões do Anticiclone dos Açores, que à escala do Atlântico Norte (Trindade, 2010),

influenciam consideravelmente o clima de agitação marítima existente. Esta interação tende a originar uma circulação atmosférica mais enérgica ao promover um maior dinamismo das áreas do varrido oceânico (Trindade, 2010) que influencia igualmente as características das ondas. A ocorrência de tempestades severas origina também grandes ondas que podem atingir até 17 m de H_s até perderem altura e conseqüentemente quebrarem devido à diminuição da profundidade da plataforma continental.

4.4. Definição de temporal

Sabendo da dinâmica que afeta, espacial e temporalmente, o ambiente litoral em qualquer região do planeta, as características morfológicas associadas e as características do clima de agitação marítima presentes são muito importantes na determinação das áreas com maior ou menor suscetibilidade à ocorrência de galgamentos e inundações costeiras.

No litoral do Funchal, as condições marítimas mais adversas fazem-se sentir por influência das tempestades que ocorrem no oceano Atlântico, nomeadamente associadas a sistemas depressionários de circulação frontal, que contribuem para grande parte dos fenómenos constatados na ilha da Madeira, especialmente os relacionados com a ocorrência de vento forte e agitação marítima mais energética. A região entre os Açores, as Canárias e o Algarve é considerada uma área de ciclogénese (formação de depressões atmosféricas) em conjunto com a circulação geral do Atlântico norte (através dos fluxos gerais que influenciam a margem continental europeia). A vertente sul da ilha da Madeira, embora se encontre geralmente ao abrigo dessa circulação, como veremos adiante pode mesmo ser influenciada por ela.

Na costa de Portugal continental, Pita e Santos (1989), Costa (1994) e Gama *et al.*, (1994) consideram temporal na costa ocidental e meridional quando a altura significativa ultrapassa, respetivamente, $H_s > 5$ m e > 3 m. Esta distinção reside na diferente exposição à ondulação dominante nas duas fachadas, considerando-se que ocorre temporal quando na fachada algarvia $H_s > 3$ m. Esta fachada encontra-se numa posição de abrigo aos fluxos dominantes tal como a costa meridional da Madeira, em geral, e o litoral do Funchal em particular.

Poder-se-ia aceitar este o valor de H_s como o correto para definir temporal no litoral do Funchal ($H_s > 3$ m). Porém, como até hoje não há nenhum estudo (conhecido) feito sobre esta

temática, utilizou-se o método dos percentis para definir temporal e temporal de grande magnitude.

Como se referiu, considerou-se temporal quando H_s era \geq ao valor do percentil 95 e temporal de grande magnitude quando H_s era \geq ao percentil 99.

O percentil 95 referente à H_s para a série total dos dados (novembro 1996 a dezembro 2013) apresenta um valor de 2,78 m. Já para o percentil 99 o valor apresentado é de 3,83 m para o mesmo período considerado.

Os valores dos percentis 95 e 99 para a H_s no inverno marítimo são de 3,14 m e 3,97 m respetivamente. Estes valores permitem definir um temporal para a costa da cidade do Funchal, com dois graus de magnitude, com ondas capazes de galgar as barreiras naturais e antrópicas, existentes no litoral do Funchal, podendo causar dessa forma danos materiais e pessoais.

A determinação temporal dos eventos extremos estudados baseou-se nos critérios utilizados e também na análise estatística e pontual dos dados da bóia ondógrafo do Funchal. A partir destas considerações foi possível localizar, no tempo, eventos de elevada magnitude (alturas de onda acima dos percentis 95 e 99) ocorridos com uma duração mínima superior a dois dias, que suscitaram interesse para o estudo devido aos impactes ocorridos em várias estruturas localizadas em zona de rebentação.

No total e de acordo com os objetivos e critérios definidos, foram escolhidos 10 eventos potenciadores de estragos em estruturas e equipamentos situados em zonas mais expostas e suscetíveis de ocorrerem galgamentos.

4.4.1. Os temporais

Em cada um dos eventos considerados foi igualmente realizada uma análise sinótica de maneira a se perceber qual a dinâmica atmosférica responsável que esteve na sua génese e que influenciou a magnitude e duração de cada um dos eventos.

Tendo em conta que os temporais no Funchal não são muito frequentes nem duram muitos dias, mas são extremamente energéticos, a análise foi toda ela minuciosa de forma a

encontrar os melhores eventos possíveis para não defraudar as expectativas propostas neste estudo.

Aqui utilizam-se os valores calculados para o percentil 95 e 99, durante os períodos de inverno marítimo, que correspondem exatamente aos valores mínimos de altura de onda para se considerar a ocorrência de um temporal marítimo na costa do Funchal, com base na série de dados estudada.

Assim foi elaborado um quadro síntese de todos os temporais selecionados com a seguinte informação:

Quadro 3 - Quadro com os temporais selecionados e informações complementares (data; duração; H_s ; H_{max}).

Data	dez/97	Jan&Fev/98	dez/02	abr/03	abr/08	dez/09	dez/10	dez/10	mar/13	abr/13
Duração	14-19	30-01/3-02	16-17	12-13	7-10	15-30	4-7	17-22	3-6	2-4
Altura significativa	4,31m	4,03m	4,69m	4,14m	5,43m	4,5m	5,56m	4,58m	5,38m	3,63m
Altura máxima	8,59m	8,06m	10,03m	7,65m	11,80m	7,97m	11,56m	9,54m	10,12m	7,15m

Os temporais selecionados têm uma duração entre 2 e 3 (16 - 17 dezembro 2002; 12 - 13 abril 2003; 2 - 4 abril 2013) dias nos eventos mais curtos e o evento mais longo durou pelo menos 15 dias (15-30 dezembro 2009). Em média, têm uma duração de 3 dias. Os valores máximos de H_s variam entre 3,63 m (mínimo registado) e 5,56 m (máximo registado). A altura de H_{max} varia entre 7,15 m (mínimo registado) e 11,80 m (máximo registado).

Os temporais selecionados foram agrupados conforme a direção de proveniência da ondulação, potenciada e complementada pela situação e análise sinótica de forma a explicitar a interação oceano-atmosfera que favoreceu a ocorrência destes eventos. Será igualmente caracterizado cada evento ao nível da duração (dias), da altura de onda significativa, nomeadamente quando os valores deste parâmetro ultrapassaram os valores calculados do percentil 95 e do percentil 99 (os valores referentes aos percentis 95 -> 3,14 m e 99 -> 3,97 m - estão assinalados nos gráficos a amarelo e vermelho respetivamente), de forma a se perceber se efetivamente nos eventos descritos, a ocorrência da agitação marítima se deveu a um temporal ou a um temporal de grande magnitude.

- **Temporais de oeste**

Temporal de 14 de dezembro a 19 de dezembro de 1997

Este evento ocorreu no mês de dezembro de 1997, dos dias 14 a 19 (Fig.32). Apesar de ser visível uma ligeira diminuição dos valores de H_s e H_{max} entre os dias 16 e 17, especialmente de H_s , que neste período registou valores de 1,79 m (mais baixo) e nada teve a ver com uma alteração da direção de propagação da onda. A direção de onda foi maioritariamente de W, ainda que nos dias 19 e 20 a direção de onda tenha oscilado entre W e WNW (ver sectograma na imagem), rumo que se manteve (WNW) após o temporal. Os valores máximos atingidos pela H_s foram de 4,31 m enquanto a H_{max} atingiu um valor máximo de 8,59 m. Em relação à ocorrência de valores de altura de onda significativa e máxima, iguais ou superiores aos calculados para o percentil 95 e 99, foram registadas alturas de onda superiores a 3,14 m correspondentes ao percentil 95 durante 4 dias neste evento. O valor calculado de 3,97 m correspondente ao percentil 99 foi registado e ultrapassado durante 5 dias.

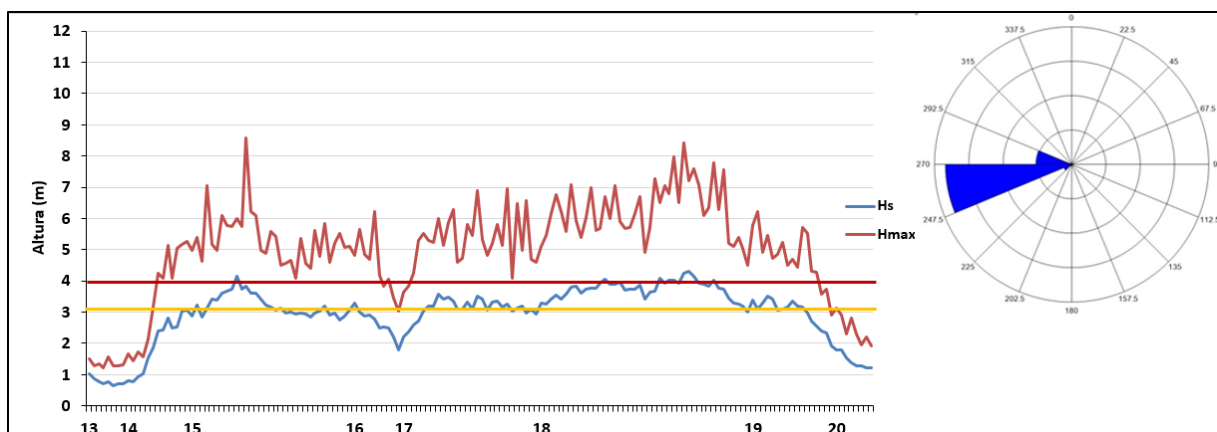


Figura 32 - Temporal de 14 dezembro a 19 dezembro de 1997. No gráfico temos presente as alturas de onda atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.

As linhas poligonais azul e vermelha correspondem aos valores de H_s e H_{max} respetivamente. O sectograma indica a direção de propagação de onda.

Temporal de 30 janeiro a 3 de fevereiro 1998

Este evento ocorreu entre o final do mês de janeiro e os primeiros dias de fevereiro de 1998 e teve uma duração de 3 a 4 dias (Fig.33), onde se denota uma diminuição das alturas de onda na passagem do dia 31 de janeiro para o dia 1 de fevereiro. Esta mudança na altura da onda deveu-se à direção de propagação da onda, que alterou o rumo de W para WNW, ainda que por pouco tempo foi possível perceber a diferença traduzida na diminuição da altura de onda

(valor mínimo $H_s = 1,67$ m; $H_{max} = 2,52$ m). A direção de propagação de onda assume rumos de W durante praticamente todo o evento, apenas sofrendo alterações de maior relevo na passagem do dia 31 de janeiro para o dia 1 de fevereiro (ver sectograma). O valor máximo de H_s registado foi de 4,03 m e o valor máximo de H_{max} foi de 8,06 m. Durante este evento o valor calculado para o percentil 95 foi ultrapassado em 4 dias e o valor do percentil 99 foi, também, ultrapassado em 4 dias.

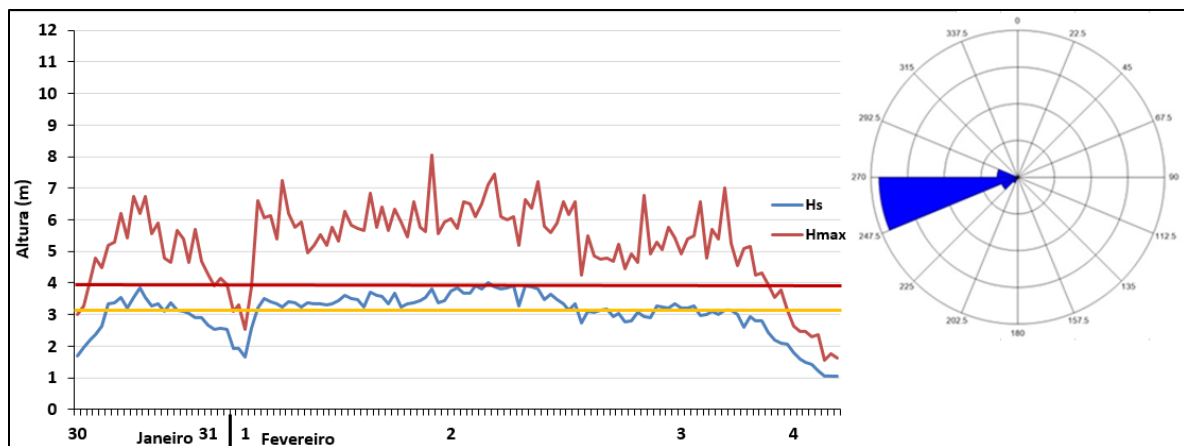


Figura 33 - Temporal de 30 de janeiro a 3 de fevereiro de 1998. No gráfico temos presente as alturas de onda atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.

As linhas poligonais azul e vermelha correspondem aos valores de H_s e H_{max} respetivamente. O sectograma indica a direção de propagação de onda.

Temporal de 12 a 13 de abril de 2003

Este evento que teve uma duração de apenas 2 dias (Fig.34), é efetivamente o mais curto de todos os apresentados e analisados mas tem uma importância semelhante aos demais, especialmente porque ocorreu já fora do período determinado como inverno marítimo. Em termos de proveniência das ondas, temos claramente uma distribuição equilibrada entre o quadrante WNW e W. Entre os dias 11 e 12 de abril, a direção de propagação de onda é de WNW. No final do dia 12 e até ao final do dia 13, a direção da onda é predominantemente de W. A partir do dia 14 volta a ter rumos predominantes de WNW. As alturas de onda máximas registadas e os valores de P95 e P99 registados são interessantes e assumiram valores próximos de outros temporais marítimos registados. H_s máxima registada foi de 4,14 m e H_{max}

registada foi de 7,65 m. O valor calculado de percentil 95 foi ultrapassado durante toda a duração do evento. O valor do percentil 99 foi ultrapassado durante 2 dias.

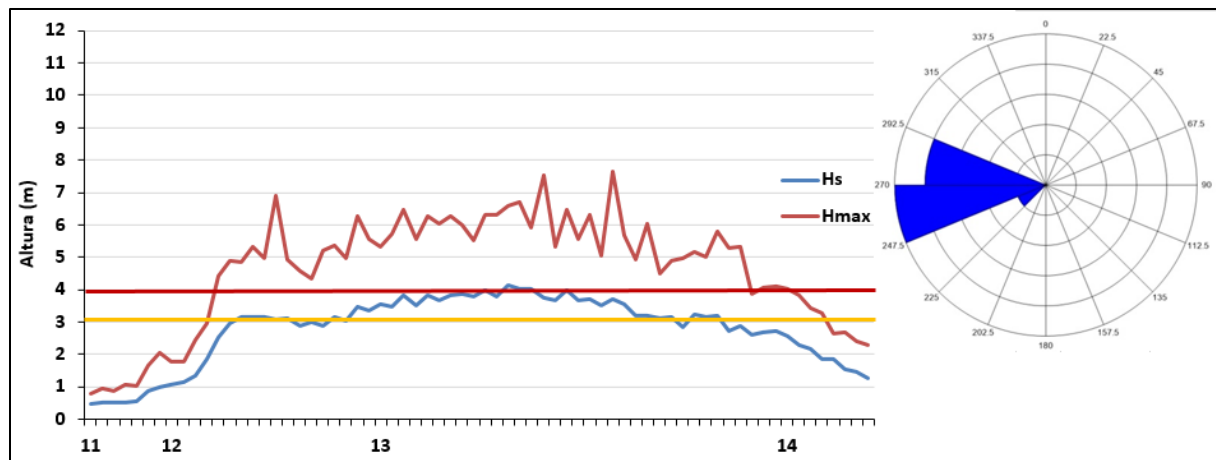


Figura 34 - Temporal de 12 a 13 de abril de 2003. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.

As linhas poligonais azul e vermelha correspondem aos valores de H_s e H_{max} respetivamente. O sectograma indica a direção de propagação de onda.

Temporal de 4 a 7 de dezembro de 2010

O evento ocorrido no início de dezembro de 2010 teve uma duração de sensivelmente 4 dias e uma magnitude considerada elevada, de acordo com os critérios (percentis) definidos (Fig.35).

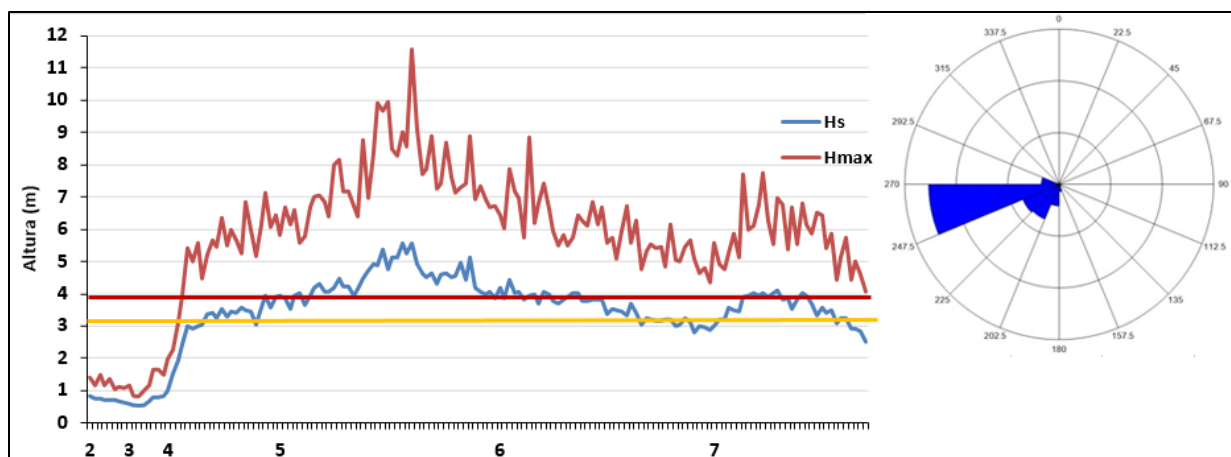


Figura 35 - Temporal de 4 a 7 de dezembro de 2010. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.

As linhas poligonais azul e vermelha correspondem aos valores de H_s e H_{max} respetivamente. O sectograma indica a direção de propagação de onda

A direção de propagação de onda foi , na maioria do evento, de W, mas durante a sua ocorrência, as variações direcionais registadas foram muitas. Direções de onda provenientes de WSW e SW foram as mais frequentes. As alturas de onda registadas ultrapassaram os percentis 95 e 99. Durante o evento, o valor máximo de H_s foi de 5,56 m (de referir que é o valor de H_s mais elevado de toda a série de dados analisada) e o valor máximo de H_{max} registado foi de 11,56 m. O valor de percentil 95 foi registado durante 4 dias enquanto o valor do percentil 99 foi registado e ultrapassado em 3 dias.

Temporal de 3 a 6 de março de 2013

O temporal de 3 a 6 de março de 2013 teve uma magnitude relativamente elevada durante os 4 dias do evento (Fig. 36). Ainda que no início do evento a direção de onda tenha sido dos quadrantes SSW e SW, não teve influência nas alturas de onda atingidas. Só a partir do dia 4 se evidenciaram direções de W, até ao final (dia 6). As alturas de onda foram significativamente elevadas durante o temporal, o que se traduziu em registos máximos de 5,38 m de H_s e 10,12 m de H_{max} . Desta forma o valor do percentil 95 foi ultrapassado em 3,5 dias e o valor de percentil 99 foi também ultrapassado em 4 dias.

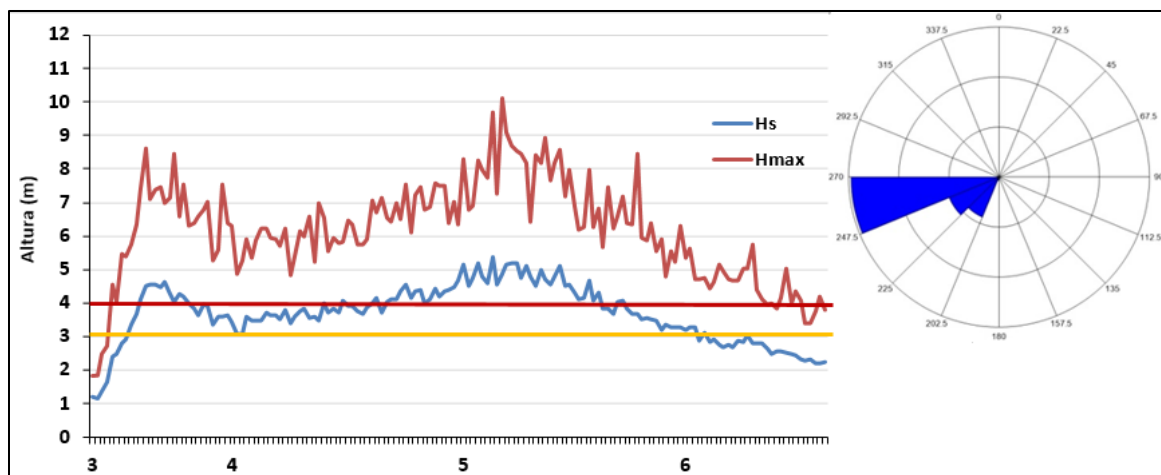


Figura 36 - Temporal de 3 a 6 de março de 2013. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.

As linhas poligonais azul e vermelha correspondem aos valores de H_s e H_{max} respetivamente. O sectograma indica a direção de propagação de onda.

Temporal de 2 a 4 de abril de 2013

Este evento ocorrido nos primeiros dias do mês de abril de 2013 teve uma curta duração (3 a 4 dias) (Fig.37). Durante todo este evento a direção da ondulação foi na íntegra dos quadrantes WSW e WNW (maior ocorrência de registos - WNW), não se registando durante o temporal outro rumo direcional. A altura das ondas registadas não atingiu valores muito elevados, mas foram suficientes para fazerem parte desta análise qualitativa. O valor máximo de H_s registado foi de 3,63 m enquanto a H_{max} atingiu 7,15 m. Relativamente aos valores do percentil 95, este foi ligeiramente ultrapassado em 3 dias do evento. Já o valor do percentil 99 foi ultrapassado na totalidade do evento.

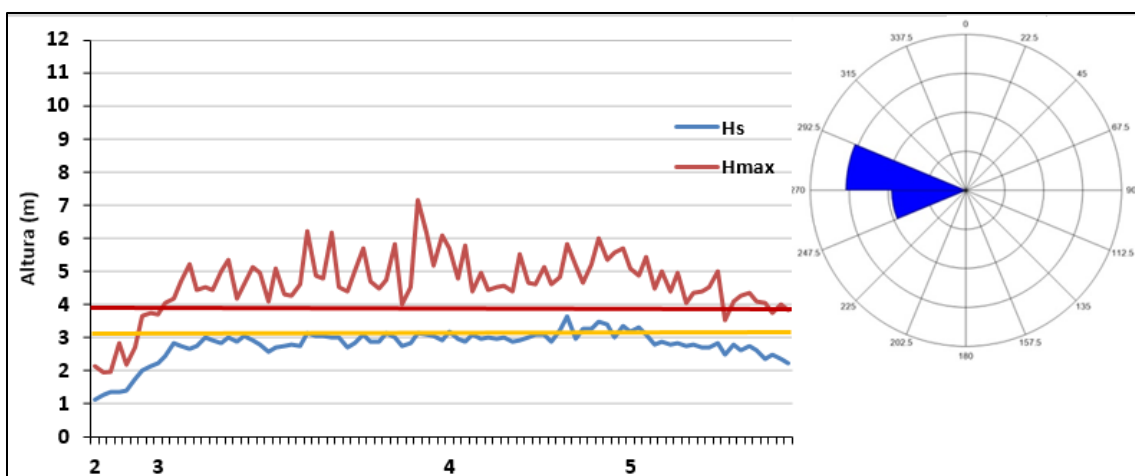


Figura 37 - Temporal de 2 a 4 de abril de 2013. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.

As linhas poligonais azul e vermelha correspondem aos valores de H_s e H_{max} respetivamente. O sectograma indica a direção de propagação de onda.

Temporais de sudoeste

Temporal de 16 a 17 de dezembro de 2002

Este evento teve uma curta duração, com apenas 2 dias de agitação marítima considerável (Fig.38). Os registos relacionados com a direção de onda assumiram valores provenientes de W no início do evento (dia 15), para depois alterar para SW, que foi o quadrante predominante durante este evento. Registos de W são evidentes mas com menor expressão que de SW. As alturas máximas registadas de H_s foram de 4,69 m e de H_{max} foram de 10,03 m. São valores consideráveis e relevantes para este estudo de agitação marítima. O valor do percentil 95 e

99 foram igualmente registados e ultrapassados durante a totalidade do evento, ou seja, durante 2 dias.

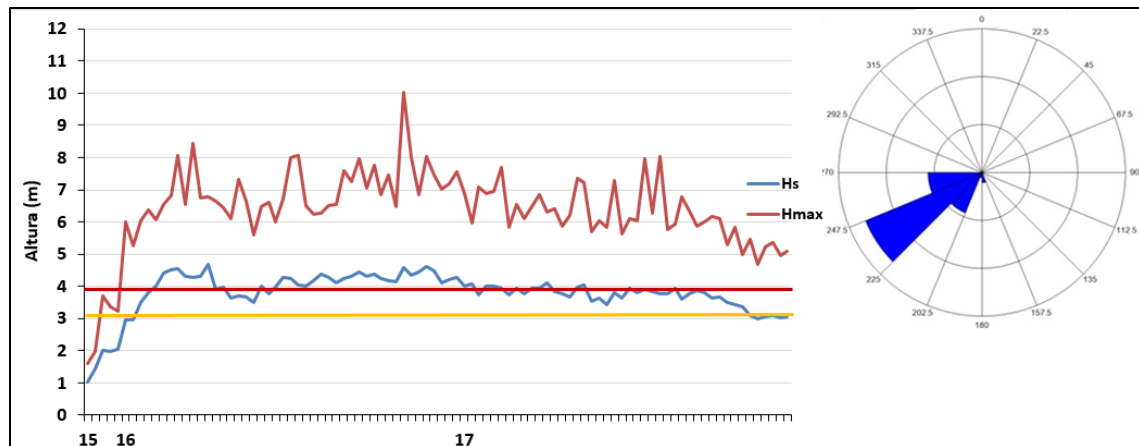


Figura 38 - Temporal de 16 a 17 de dezembro de 2002. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.

As linhas poligonais azul e vermelha correspondem aos valores de H_s e H_{max} respetivamente. O sectorograma indica a direção de propagação de onda.

Temporal de 7 a 10 de abril de 2008

O evento de 7 a 10 de abril teve uma duração de 4 dias (Fig.39), que se pode caracterizar por ter grande magnitude e onde se destaca o registo da altura máxima de onda mais elevada de toda a série de dados analisada (11,80 m). A direção de propagação das ondas distribuiu-se entre os quadrantes SW e W, com ligeira predominância SW. O valor máximo de H_s registado foi de 5,43 m enquanto o valor máximo de H_{max} foi proveniente de W. No que diz respeito ao valor do percentil 95, este foi registado e ultrapassado durante 4 dias enquanto o valor do percentil 99 foi registado e ultrapassado, igualmente, em 4 dias neste evento.

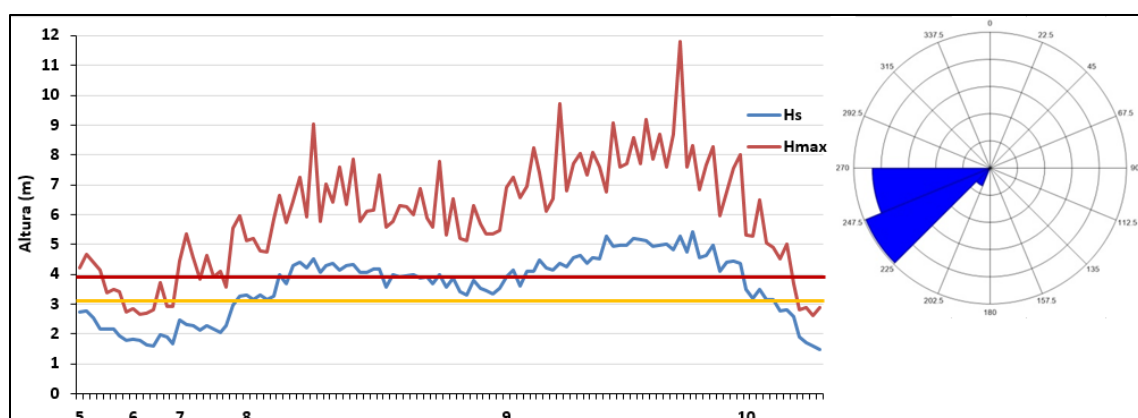


Figura 39 - Temporal de 7 a 10 de abril de 2008. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.

As linhas poligonais azul e vermelha correspondem aos valores de H_s e H_{max} respetivamente. O sectorograma indica a direção de propagação de onda.

Temporal de 15 a 30 dezembro 2009

Este temporal foi efetivamente o mais extenso de todos os temporais analisados. Teve uma duração de 15 dias com uma magnitude significativa (Fig.40), apesar de uma ou outra diminuição pontual das alturas de onda registadas, que não afetaram a intensidade deste evento. A direção de propagação foi basicamente constante entre os quadrantes SW - SSW, com pequenas alterações de direção associadas a W e WNW. A ocorrência de diminuição na altura das ondas deveu-se a variações relacionadas com as direções de propagação. O primeiro indício (dia 17) corresponde a uma mudança dos quadrantes WNW - W para os quadrantes SSW - SW. As seguintes três variações significativas (abaixo do percentil 95) de altura de onda deram-se nos dias 20, 22, 27 e 31, mas aqui a direção das ondas não registou grandes diferenças, pois manteve-se oriunda dos quadrantes W e SW. Os valores máximos de H_s registados foram de 4,5 m enquanto a H_{max} atingiu um valor máximo de 7,97 m. No que diz respeito aos valores dos percentis (95 e 99), ambos foram ultrapassados durante a totalidade do evento (15 dias).

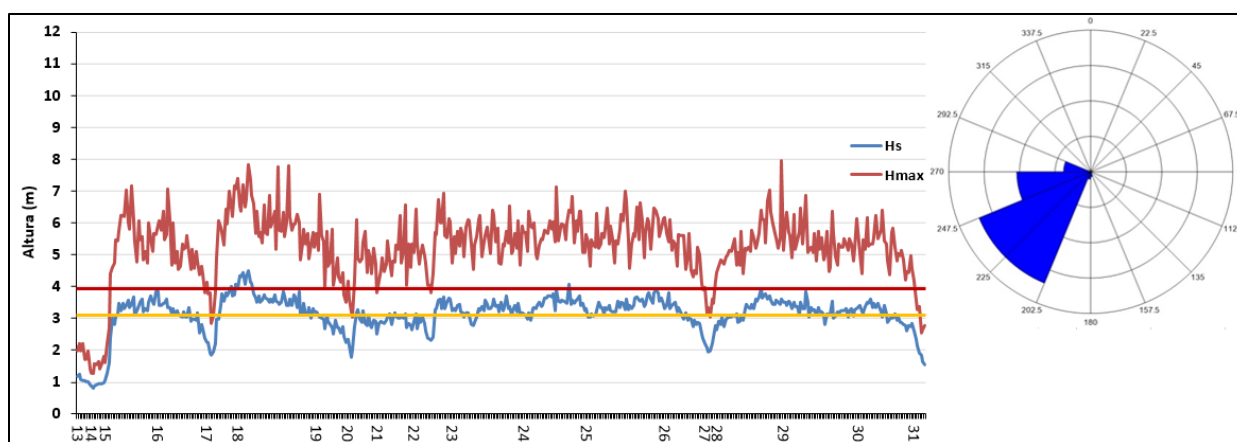


Figura 40 - Temporal de 15 a 30 de dezembro de 2009. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.

As linhas poligonais azul e vermelha correspondem aos valores de H_s e H_{max} respetivamente. O sectorograma indica a direção de propagação de onda.

Temporal de 17 a 22 de dezembro 2010

Este evento tem a particularidade de estar explicitamente dividido em 2 fases (16 a 19 dezembro e 20 a 23 dezembro), ambas com 3 dias de duração, interrompidas praticamente a meio da duração do evento que evidencia uma magnitude interessante (Fig. 41). O valor máximo de H_s foi de 4,58 m e a H_{max} teve um pico máximo de 9,54 m. Em termos de

propagação da direção de onda, durante o evento a direção mais frequente foi SW com algumas variações, diminutas, dos quadrantes W e SSW. Durante o evento, entre os dias 18 e 19 é perceptível uma diminuição significativa da altura das ondas, que não teve relação com a direção de onda, pois durante este período a direção assumiu-se de acordo com a predominância geral deste evento, SW.

No que diz respeito aos valores do percentil 95, este foi ultrapassado durante, sensivelmente 4,5 dias. O percentil 99 teve o seu valor ultrapassado em 5 dias.

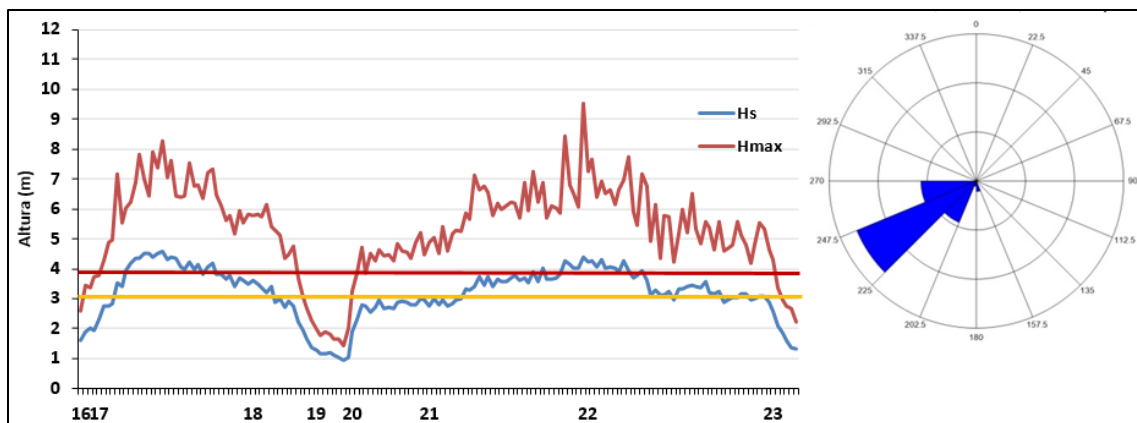


Figura 41 - Temporal de 17 a 22 de dezembro de 2010. No gráfico temos presente as alturas de ondas atingidas e as linhas do percentil 95 (amarelo) e 99 (laranja). Fonte: APRAM.

As linhas poligonais azul e vermelha correspondem aos valores de H_s e H_{max} respetivamente. O sectorograma indica a direção de propagação de onda.

4.5. Interação oceano-atmosfera

A análise aos temporais é muito importante e igualmente útil, de acordo com os objetivos perspetivados para este estudo.

A posição geográfica da ilha da Madeira, nas áreas envolventes às grandes depressões que se formam e abatem no Atlântico Norte, proporcionam ao arquipélago um certo abrigo aerológico aos sistemas barométricos geradores de grandes tempestades que, por vezes, assolam o arquipélago e causam episódios de forte ondulação e agitação marítima. A nível local e popular, a agitação marítima assume a designação de “levadia”. As ondas atingem alturas consideráveis e galgam molhes e paredões, arrastam bens e equipamentos e “engolem” toda a extensão das praias de calhau rolado por todo o litoral.

Este tipo de fenómeno marítimo ocorre geralmente no outono e no inverno, potenciado pelos temporais provenientes dos quadrantes do S e W, mas também quando ocorrem depressões

fortes no Atlântico Norte. As ondulações fortes de W são as mais frequentes e as que causam maior transtorno. Como a ondulação proveniente dos quadrantes E e SE ocorre raramente, não temos propriamente (nos dados analisados) um temporal significativo com esta proveniência que possibilite uma análise pontual da magnitude da ondulação gerada por ventos destes quadrantes

Analisaram-se as condições meteorológicas dos eventos de magnitude considerada elevada, representados e comentados anteriormente. Esta análise foi levada a cabo, por proveniência de temporal e ordem cronológica com recurso a cartas sinóticas retiradas do *site* alemão <http://www1.wetter3.de> através da base de dados ao dispor do comum utilizador.

A análise foi realizada para 4 dos eventos analisados e referidos anteriormente, devido à sua relativa duração e magnitude, sendo que as restantes cartas sinóticas encontram-se disponíveis em Anexo (Anexo 10). Os eventos foram ordenados por proveniência (W seguido de SW).

Temporal de 03 a 06 de março de 2013 - Temporal com a duração de 3 dias, que assolou todo o arquipélago com forte dinâmica associada à agitação marítima, gerado na sequência da instalação de uma depressão a que se associam superfícies frontais (Fig. 42), com progressão W-E. ($H_s = 5,38\text{m}$ e $H_{max} = 10,12\text{m}$).

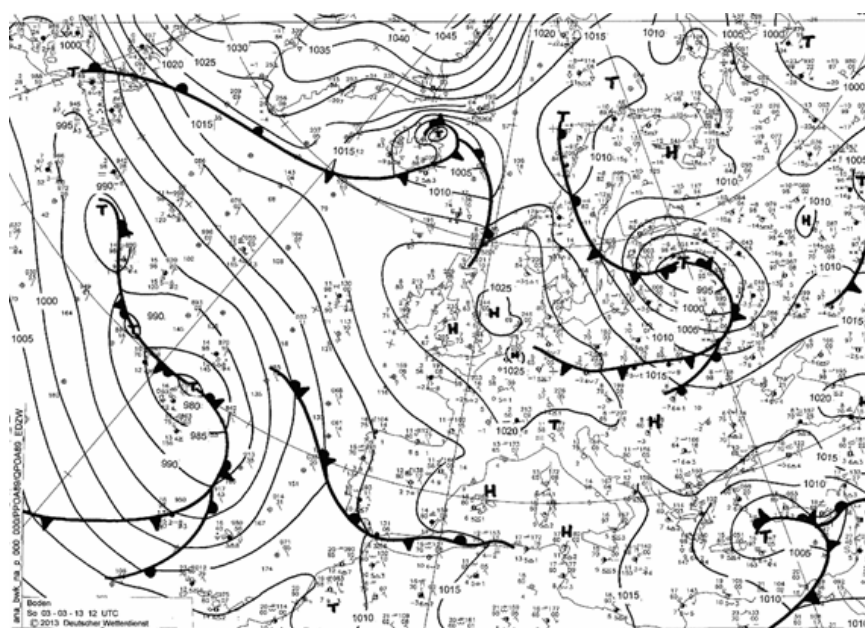


Figura 42 - Carta de superfície às 12h do dia 03 de março de 2013, reduzida ao nível do mar. Fonte: <http://www1.wetter3.de>.

Temporal de 07 a 10 de abril de 2008 - Correspondeu a um temporal de 3 dias que ocorreu já fora do período de inverno marítimo gerado por uma depressão cavada (990 hPa) formada a oeste-noroeste do arquipélago, à qual se associaram sucessivas superfícies frontais, com a trajetória WSW-SW. Também atingiram o arquipélago frentes oclusas e estacionária que contribuíram para as alturas de onda elevadas registadas ($H_s = 5,43\text{m}$; $H_{\max} = 11,80\text{m}$), (Fig. 43).

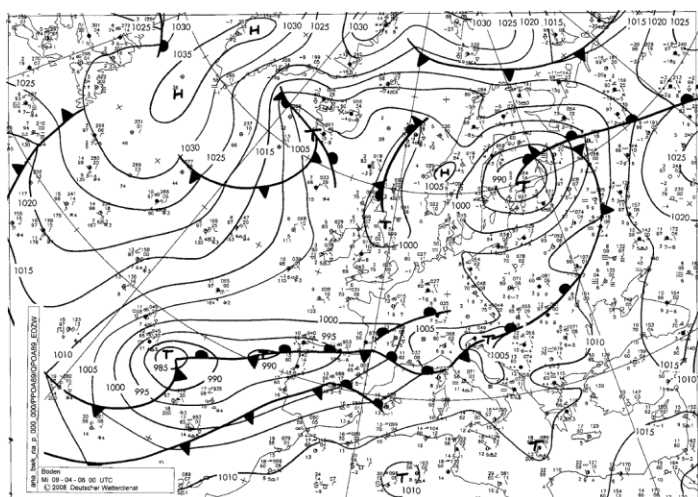


Figura 43 - Carta de superfície às 00h do dia 09 de abril de 2008, reduzida ao nível do mar.
Fonte: <http://www1.wetter3.de>.

Temporal de 15 a 30 de dezembro de 2009 - Este temporal com uma duração de 15 dias ocorreu devido à passagem de superfícies frontais e também de frentes oclusas e estacionárias, geradas por várias depressões formadas a WNW do arquipélago da Madeira e a W do arquipélago dos Açores, gerando ventos de noroeste, oeste e sudoeste que afetaram sucessivamente a superfície oceânica, gerando ondulação por vezes forte ($H_s = 4,5\text{m}$; $H_{\max} = 7,97\text{m}$), predominante de SW e W (Fig. 44 e 45).

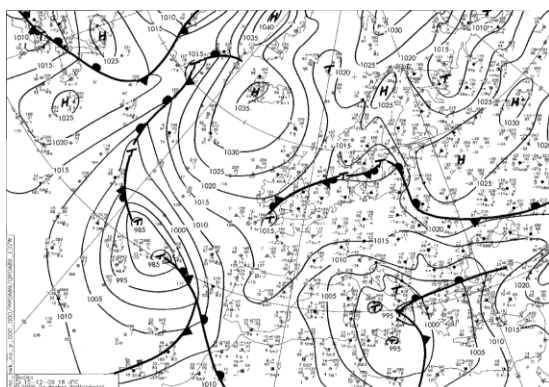


Figura 44 - Carta de superfície às 18h do dia 16 de dezembro de 2009, reduzida ao nível do mar. Fonte: <http://www1.wetter3.de>.

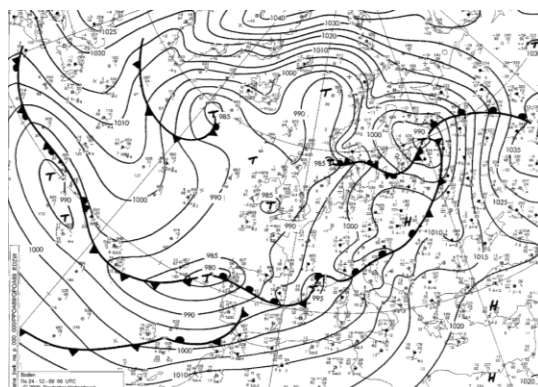


Figura 45 - Carta de superfície às 00h do dia 24 de dezembro de 2009, reduzida ao nível do mar. Fonte: <http://www1.wetter3.de>.

Temporal de 17 a 22 de dezembro de 2010 - temporal dividido em 2 fases com uma duração de 6 dias (16 a 19; 20 a 23 dezembro) em pleno inverno na sequência da formação de uma depressão a W do arquipélago que praticamente atravessou toda a região e que originou uma importante dinâmica marinha, com fluxos de SW (Fig. 46 e 47). Posteriormente a passagem de frentes frias e oclusas causaram alguma instabilidade em todo o arquipélago, o que contribuiu para a continuidade da agitação marítima ($H_s = 4,58\text{m}$; $H_{max} = 9,54\text{ m}$).

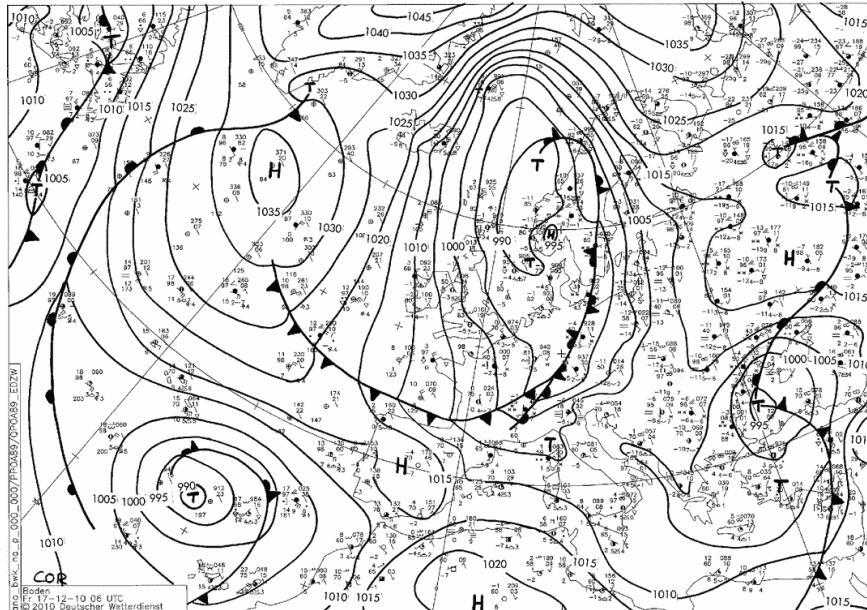


Figura 46 - Carta de superfície às 06h do dia 17 de dezembro de 2010, reduzida ao nível do mar. Fonte: <http://www1.wetter3.de>.

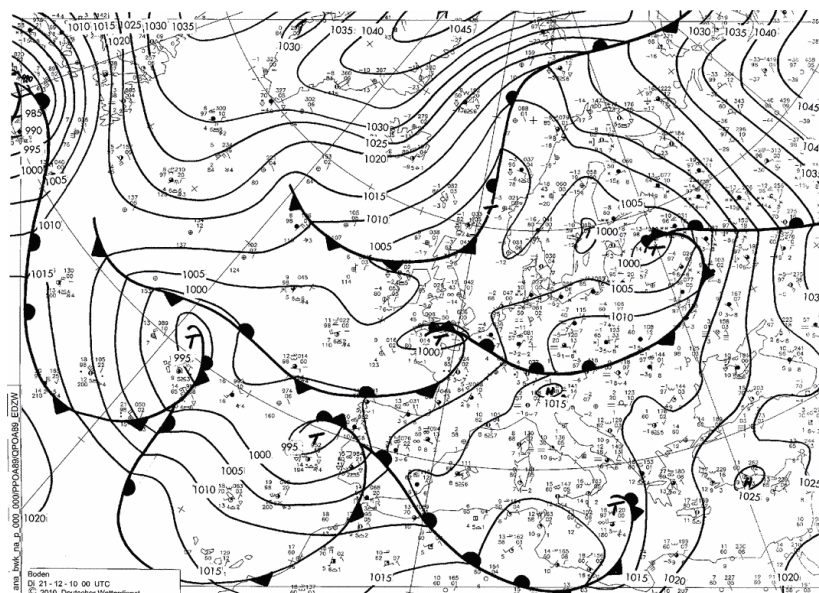


Figura 47 - Carta de superfície às 00h do dia 21 de dezembro de 2010, reduzida ao nível do mar. Fonte: <http://www1.wetter3.de>.

4.6. As notícias analisadas

Neste capítulo são apresentados os resultados da inventariação de ocorrências de temporais, na ilha, que tenham sido reportados por meio de comunicação social regional, em suporte de papel (jornais) nomeadamente dois jornais diários da região (Diário de Notícias da Madeira e o Jornal da Madeira), com o intuito de catalogar e avaliar os impactes de episódios extremos ocorridos especialmente nos períodos em que não existem registos marítimos na bóia ondógrafo do Funchal.

Os períodos para consulta na imprensa regional foram definidos aquando do tratamento estatístico efetuado sobre os dados da bóia ondógrafo, ainda no início do estudo, onde foi perceptível que efetivamente existiam períodos nos quais a coleta de dados não foi viável, quer devido a razões naturais, quer por razões de natureza humana (manutenção).

O período pormenorizado dos dados em falta constatado está visível no quadro 2, sendo possível enumerar 13 meses, entre setembro de 1996 e dezembro de 2013, em que por diversas razões a bóia não foi capaz de registar qualquer tipo de dados.

Tendo em conta que destes 13 meses, 8 deles dizem respeito a meses incluídos em pleno inverno marítimo, tornou-se essencial efetuar uma pesquisa nos dois diários mais significativos na imprensa regional, sobre a ocorrência de eventos meteorológicos adversos em particular no mar e no litoral da cidade do Funchal.

O facto de a imprensa servir (não só) para referir e evidenciar a ocorrência destes fenómenos, para além das entidades oficiais, contribuiu efetivamente para uma melhor perceção dos danos e estragos causados pelos eventos extremos referidos.

Desta forma, recorrendo aos jornais com maior expressão e tiragem da Região Autónoma da Madeira (Diário de Notícias da Madeira & Jornal da Madeira) em suporte de papel e digital, foi efetuada uma recolha de informação regional dos períodos em que não existiam dados das bóias. Limitou-se a procura de informação para apenas os meses que se encontram em regime de inverno marítimo, ou seja de setembro a março, que resultou num total de 8 meses. Convém salientar que os jornais diários analisados são jornais com tiragem exclusivamente regional e foram consultados no Arquivo Regional da Madeira e que as tiragens de ambos os jornais apenas se encontravam em papel e em formato digital, pois uma decisão do governo regional ordenou que todos os jornais impressos fossem digitalizados para não existir o risco

de se perderem mais exemplares em situações de inundações, como ocorreu em fevereiro de 2010 e que resultou na perda de muito exemplares do Jornal da Madeira.

De todas as notícias que reportaram situações de agitação marítima, foram retiradas as informações mais relevantes dentro desta temática, servindo para a elaboração de um quadro (ver Anexo 11) que engloba todas as ocorrências mais significativas no litoral funchalense. As ocorrências reportadas foram catalogadas e identificadas por eventos e fatores condicionantes, por local de ocorrência e por tipos de situações danosas originadas.

Foram catalogadas todas as notícias em que estivesse registada a ocorrência de:

- Agitação marítima
- Galgamentos costeiros
- Inundações
- Precipitação intensa
- Vento forte

No geral, esta análise acabou por não ser tão extensa devido à diminuta ocorrência de eventos associados a agitação marítima (Quadro 3) comparativamente com os períodos em falta encontrados na análise dos dados da boia ondógrafo (11 meses inseridos em inverno marítimo).

Quadro 3 – Contabilização de ocorrências nas notícias analisadas

<i>Eventos</i>	<i>Nrº de ocorrências</i>
Agitação marítima	26
Galgamentos costeiros	6
Inundações e cheias	5
Precipitação intensa	13
Vento Forte	19

Relativamente ao tipo de situações danosas, estas foram maioritariamente relacionadas com casos de:

- Impedimento de ligações marítimas, atracagem de navios e afundamento de navio areeiro (ligações inter-ilhas e de navios cruzeiro, Fig. 48)
- Destruição de estruturas público-privadas na linha de costa (Fig. 49, 50, 51) (ETAR situada na Zona Velha; complexos balneares do Lido e da Barreirinha; restaurantes e bares de apoio da praia Formosa).

Todas as restantes situações não foram propriamente causadoras de grande destruição como as anteriores, ainda que possam e tenham causado grandes embaraços materiais e pessoais (1 pessoa desaparecida; 1 ferido grave e 5 ligeiros). A situação referente ao dia 20 de fevereiro de 2010, em que pelo menos 32 pessoas perderam a vida, não está relacionada com episódios de agitação marítima, apesar de efetivamente ter ocorrido grande destruição no litoral, mas sim com outros episódios (cheias rápidas, deslizamentos).



Figura 48 - Exemplos de notícias analisadas com particular transtorno na dinâmica portuária e causadoras de estragos no litoral do Funchal. Fonte: Arquivo Regional da Madeira.



Figura 49 - Exemplos de notícias analisadas com particular transtorno na dinâmica portuária e causadoras de estragos no litoral do Funchal. Fonte: Arquivo Regional da Madeira.

Assim é possível compreender um pouco dos estragos e transtornos que este tipo de ocorrência provoca na sociedade. Todo e qualquer estrago provoca constrangimentos na dinâmica social de uma cidade ou localidade. Estes exemplos de notícias (restantes em Anexo)

ilustram bem o potencial que as adversidades meteorológicas podem ter sobre o fluído funcionamento de bens e serviços.

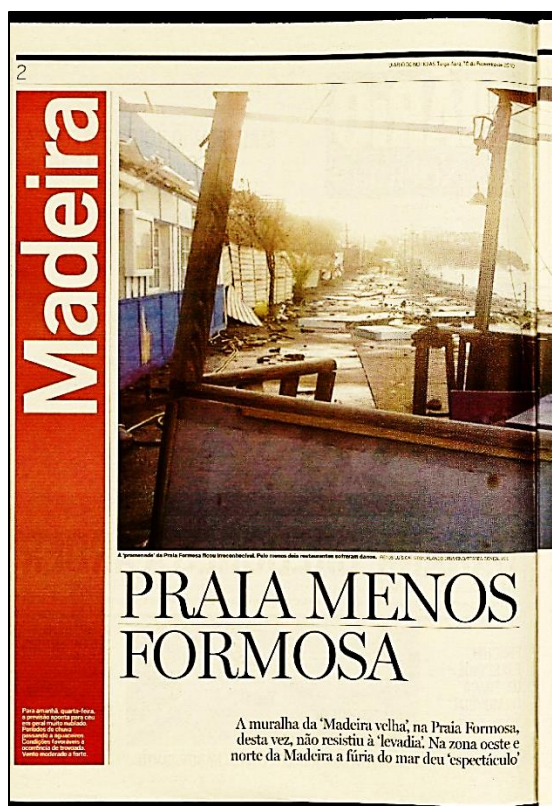


Figura 50 - Imagens alusivas a ondulação extrema na praia Formosa e consequentes estragos em bares e restaurantes. DN Madeira. Fonte: Arquivo Regional da Madeira.



Figura 51 - Imagens alusivas a ondulação extrema na praia Formosa. Capa DN Madeira. Fonte: Arquivo Regional da Madeira.

5. Suscetibilidade do litoral do Funchal à inundação costeira

É do conhecimento geral que o ambiente costeiro é caracterizado pela sua elevada dinâmica, especialmente induzida pelos elementos forçadores presentes que atuam de forma contínua, que sendo frequentemente previsíveis, não costumam acarretar grandes implicações na dinâmica dos sistemas naturais e das populações. De maneira igual são conhecidas as rápidas mudanças de que os elementos forçadores são capazes e que modificam, a seu tempo, a morfologia dos sistemas naturais bem como o quotidiano das populações, conforme a sua magnitude.

Num estudo sobre ambientes costeiros é necessário enfatizar e perceber os processos que aqui atuam e se focar especialmente nas transformações morfológicas que ocorrem nas zonas costeiras, muito por força da ação das ondas, dos ventos, das marés, das correntes, de *tsunamis*, da precipitação e das modificações na configuração natural da linha de costa induzidas pelo homem (Trindade, 2010) que em conjunto delineiam a forma da linha de costa. Este é um dos objetivos da geomorfologia costeira.

Incidindo este estudo sobre a suscetibilidade a galgamentos e inundações costeiras, é plausível elucidar o conceito de suscetibilidade. Assim com base no guia metodológico de Julião *et al.*, (2009), os mapas de suscetibilidade “representam a incidência espacial dos perigos. Identificam e classificam as áreas com propensão para serem afetadas por um determinado perigo, em tempo indeterminado.” (Julião *et al.*, 2009 *cit.*, pág. 31). Mais em pormenor com a temática em estudo, podemos classificar a suscetibilidade de um sistema de praia como a distribuição espacial do perigo, considerando-se os fatores que contribuem para determinar o potencial de inundação, através da ocorrência de galgamentos oceânicos ou pelo recuo planimétrico da linha de costa (Trindade, 2010).

A inundação e galgamento costeiros define-se como “inundação da faixa terrestre adjacente à linha de costa decorrente de tempestades marinhas⁴. Corresponde às áreas de: a) inundação pelas águas do mar durante temporais; b) atingidas pelo espraio das ondas de tempestade; c) galgamento de elementos morfológicos naturais e estruturas existentes na orla costeira. As

⁴ Neste trabalho, assim como noutros que tratam esta temática, as “tempestades marinhas” foram sempre designadas por temporais em oposição a tempestades consideradas quando afetam terras emersas.

inundações e galgamentos costeiros afetam praias, dunas costeiras, arribas, barreiras detriticas (restingas, barreiras soldadas e ilhas-barreira), tómbolos, sapais, faixa terrestre de proteção costeira, águas de transição e respectivos leitos e faixas de proteção, bem assim como estruturas e infraestruturas existentes na orla costeira” (Julião *et al.*, 2009 *cit.*, pág.57).

A ocorrência de inundações e galgamentos costeiros depende de uma série de variáveis intrínsecas à interação entre o mar e a terra, onde o conhecimento da morfologia dos sistemas é fundamental para se determinar a sua suscetibilidade a estes eventos (adaptado de Trindade, 2010). Ter o correto conhecimento dos declives existentes bem como dos valores das marés previstos, da SNMOM, das alturas de onda previstas, do valor máximo do *runup* e mesmo do valor altimétrico máximo atingido pela corrente de afluxo (Trindade, 2010) permite executar uma correta análise espacial destes eventos e assim facilitar a tomada de decisões em áreas onde este tipo de fenómenos seja frequente, com o intuito de salvaguardar pessoas e bens e promover um correto uso do território em áreas de suscetibilidade reconhecida.

Neste contexto e de acordo com a geomorfologia do litoral funchalense e conhecidas que são as intervenções humanas e a pressão que exercem sobre o território, estas contribuíram para que esta porção de território seja efetivamente vulnerável a desastres naturais de origem hidro-geomorfológica.

5.1. Cartografia de inundação associada ao *runup*

Tendo como objetivo específico a avaliação à inundação das áreas ribeirinhas do Funchal por influência marítima, foi decidido que o método de análise a utilizar, para definir os valores atingidos em situação de temporal e assim espacialmente representar os efeitos das ondas de tempestade no território, seria o método do *runup*.

Como já descrito, o *runup* é um importante parâmetro para determinar eficientemente a extensão das inundações costeiras resultantes de temporais extremos (Melby *et al.*, 2012) e que calcula exatamente o nível altimétrico máximo atingido pelo rebentamento das ondas, após colapsarem no perfil de praia, conforme o nível da maré (Trindade, 2010).

Assim o modelo utilizado (descrito no capítulo 3) teve como base a fórmula usada por Nakamura *et al.*, (1972):

$$R2\% = 2,99 - 2,73 \exp (-0,57 \times \tan(\beta) / (H0 / L0) \frac{1}{2})$$

Contudo, esta fórmula sofreu uma alteração tendo em vista a inclusão do valor máximo calculado correspondente à SNMOM, no período de 2008 a 2013. O valor máximo da SNMOM calculado no período de 2008 a 2013 foi de 0,13 m. Este valor foi acrescentado na fórmula com o objetivo de associar o efeito de empolamento da superfície do mar resultante de fortes tempestades marítimas e que igualmente contribuem para as inundações na linha de costa.

Foi adicionado o valor correspondente ao NMPMV para o ano de 2010 com base na tabela de marés disponibilizada pelo Instituto Hidrográfico. Esse valor foi de 2,67 m, que ao subtrair-se o valor equivalente ao zero hidrográfico (ZH) para o arquipélago da Madeira (1,40 m), totalizou 1,27 m de NMPMV.

Assim a equação utilizada para o cálculo do *runup* ficou com a seguinte designação:

$$R2\% = (2,99 - 2,73 \exp(-0,57 \times \tan(\beta) / (H_0 / L_0)^{1/2}) + SNMOM + NMPMV$$

$R2\%$ - espraio (m)

$\tan(\beta)$ - declive da face da arriba ou praia

H_0 - altura da onda ao largo (m), foi usada H_{max}

L_0 - período da onda (s), foi usado o valor médio

SNMOM - sobrelevação do nível do mar por origem meteorológica

NMPMV - nível máximo de preia-mar viva

Esta foi a equação calculada:

$$R2\% = (2,99 - 2,73 \exp(-0,57 \times \tan(\beta) / (H_0 / L_0)^{1/2}) + 0,13 + 1,27$$

Esta foi a fórmula que viabilizou o cálculo do *runup*. O resultado obtido foi depois modelado com recurso à ferramenta *raster calculator*, do programa *Arcgis*, em conjunto com o ficheiro *raster* respeitante ao MET da linha de costa.

Foi, então, projetado um cenário de espraio de onda referentes ao declive de 89° e consequentes valores de tangente (57,28), para o registo de altura máxima de onda registada (11,80 m). O valor atribuído à média do período de onda foi de 8 segundos, o valor de SNMOM foi de 0,13 m e o valor de PNMVM 1,27 m.

Um cenário foi calculado com base no valor máximo de ondulação registado ($H_{max} = 11,80\text{m}$) com um período de onda médio de 8 segundos e com um declive de 89° que corresponde, por norma, à inclinação evidente nos paredões e muralhas existentes na grande maioria deste trecho de território para avaliar o impacto do espraio em muralhas e paredões marítimos. Este

cenário de modelação demonstra os efeitos de um evento extremo na linha de costa da cidade do Funchal.

O valor calculado de $R2\%$ para este cenário foi de 4,27 m, o que indica que o espraio da onda inundou, no mínimo, 4,27 m de território no litoral. Ou seja, todo o território litoral que se compreende numa cota altimétrica abaixo dos 4,27 m é perfeitamente passível de sofrer inundações resultantes de ondulação extrema. Não se pode restringir a cota mínima garantida apenas aos 4,27 m porque em algumas partes do litoral, quer sejam paredões ou rochedos e bases de arribas, o espraio da onda pode muito bem alcançar cotas significativamente superiores, como é perceptível na cartografia associada.

Analisando o resultado do espraio calculado, é interessante visualizar que muitas áreas adjacentes à linha de costa são facilmente inundadas por conta de ondulação severa que potencia os efeitos do *runup* e aumenta a possibilidade de causar estragos e danos em infraestruturas públicas ou privadas (Fig.52).

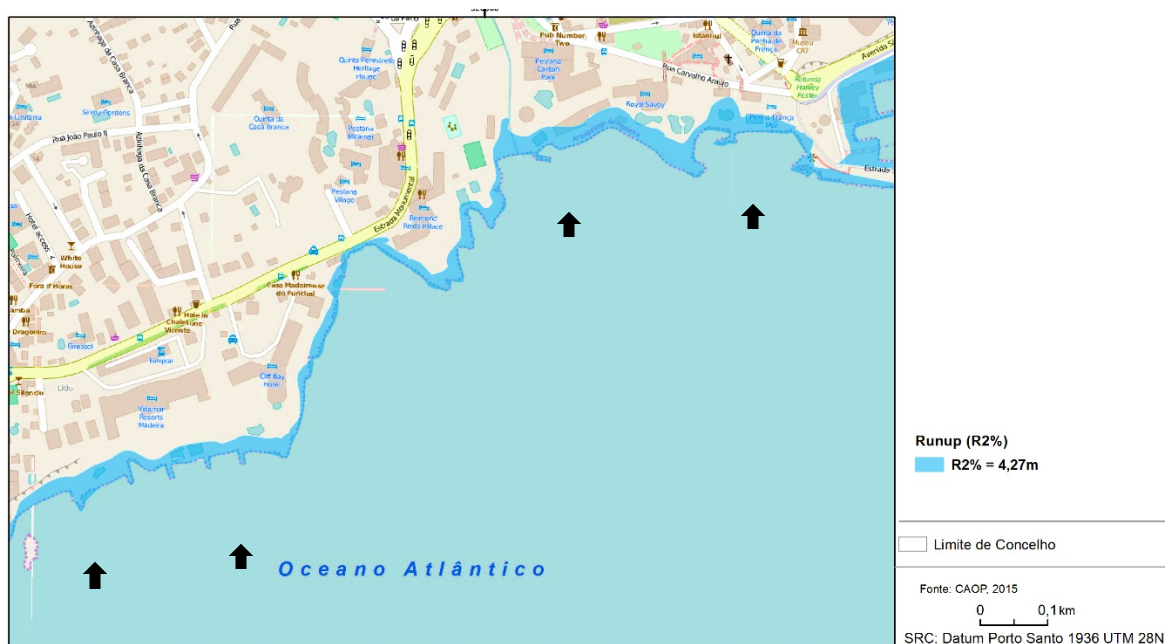


Figura 52 - Resultado do *runup* ($R2\%$ de 4,27 m) no sector compreendido entre o Gorgulho (extremidade oeste) e o Hotel Penha de França (extremidade este).

As setas pretas correspondem às instalações hoteleiras, clubes privados e zonas de acesso balnear associadas .

As zonas de acesso balnear marítimo existentes nas unidades hoteleiras e clubes privados (Fig.52 e Anexo 3) são, sem dúvida, as que mais sofrem em episódios de agitação marítima visto que, apesar de algumas estarem minimamente protegidas com paredões, muralhas e até mesmo enrocamentos, nem sempre são suficientes para deter a massa de água que se abate

sobre a costa, especialmente se coincidir com períodos de maré cheia ou marés vivas, causando assim inúmeros estragos nas suas instalações. Felizmente, estas são situações pontuais, mas como a ondulação na região tem um carácter muito energético os estragos resultantes são, por vezes, muito acrescidos e significantes.

No sector compreendido entre o Gorgulho e a Ponta Gorda (Fig.53), os estragos da agitação marítima são bem conhecidos. O complexo balnear do Lido foi ao longo dos anos duramente fustigado pela agitação marítima, que acabou por encerrar por um período indeterminado para requalificação (reabriu em fins de março 2016), fruto do violento temporal que assolou a ilha em fevereiro de 2010. As restantes instalações aqui existentes (Complexo Balnear da Ponta Gorda e Clube Naval do Funchal,) são igualmente fustigadas durante estes eventos, ainda que a linha de costa seja predominantemente de arriba com algumas extensões de paredões e muralhas, mas que não impede a destruição parcial de algumas secções.



Figura 53 - Resultado do runup (R2% de 4,27 m) no sector compreendido entre o Gorgulho (este) e a Ponta Gorda (oeste).

As setas pretas correspondem, sequencialmente, às instalações balneares da Ponta Gorda, Clube Naval do Funchal, Cais do Carvão, Lido, Gorgulho e consequentes muralhas e paredões marítimos

Entre a Ponta Gorda e as piscinas do Governador (Doca do Cavacas) (Fig.54), o traçado costeiro é essencialmente caracterizado por arribas e rochedos. Aqui não existe quase nada que possa ser posto em perigo, à exceção do restaurante e infraestruturas pertencentes ao pequeno complexo balnear aqui presente e dos pescadores lúdicos que por vezes se aventuram, já que o perigo de serem arrastados pela ondulação é maior neste sector desprotegido.

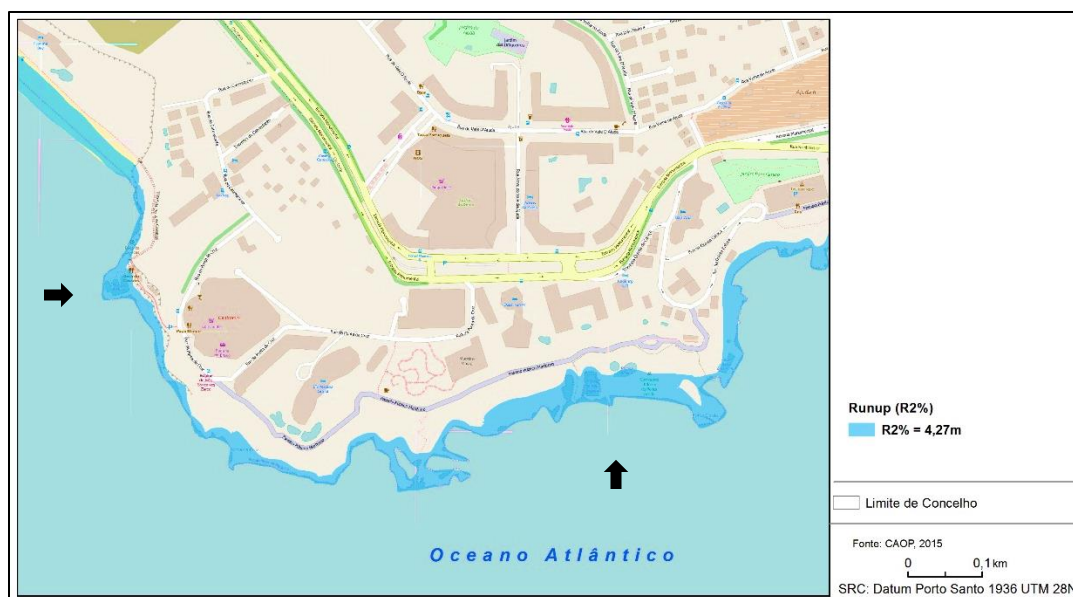


Figura 54 - Resultado do *runup* (R2% de 4,27 m) no sector costeiro compreendido entre a Ponta Gorda e Clube Naval do Funchal (este) e a Doca do Cavacas (oeste).
As setas pretas correspondem aos complexos balneares Poças do Governador e Ponta Gorda.

No centro da cidade (Fig.55) o efeito do *runup* calculado é igualmente evidente, embora os efeitos digamos, já não são tão destrutivos do que eram ou poderiam ser há uns anos, quando a existência de paredões e estruturas de proteção costeira era consideravelmente menor e as áreas suscetíveis a galgamentos e inundações costeiras eram largamente superiores e que efetivamente sofriam mais danos durante este tipo de eventos. Estas novas estruturas vieram realmente trazer mais proteção a este sector mas, como se nota na imagem 55, temos uma grande extensão de território inundado, visto que a maior parte do espraio acaba por ultrapassar a maioria das muralhas e paredões erigidos. Tendo em conta que com áreas de lazer e atracagem de navios, este aumento, artificial, do traçado costeiro potenciou uma maior área para uso do solo, mas não devemos descurar o potencial natural de eventos extremos em causar perturbações e estragos em áreas antropomorfizadas. As pequenas praias ali existentes (São Tiago e Barreirinha) são também muito vulneráveis em situações extremas pois como não têm basicamente proteções contra a ondulação, são facilmente inundadas. Um facto que pode pesar aquando da ocorrência deste tipo de situações prende-se com as fozes das ribeiras aqui existentes (as maiores do concelho), caso estejam também associados períodos de grande precipitação. Aqui poderá ocorrer uma situação complexa muito por culpa do efeito tampão que possa advir da junção das águas fluviais e marinhas, especialmente em situação de maré cheia ou marés vivas que poderá causar inundações nas zonas ribeirinhas,

especialmente se houver galgamento dos muros de proteção na zona de confluência entre as duas massas de água, devido às dificuldades de escoamento das águas das ribeiras.



Figura 55 - Resultado do runup (R2% de 4,27 m) sector central costeiro da cidade do Funchal.

As setas pretas correspondem ao novo cais de acostagem e às praias de São Tiago e Barreirinha.

Dentro do porto do Funchal a situação não é de todo preocupante, ainda que nos limites das plataformas de atracagem de navios e embarcações de pesca possam ocorrer galgamentos resultantes da deslocação da massa de água ao entrar e refletir nas estruturas. A muralha sul do porto protege muito bem toda a área portuária (Fig.55 e 56).



Figura 56 - Agitação marítima e rebentamento de ondulação na muralha sul do porto do Funchal.

Protege não só as estruturas existentes mas também as embarcações (de pesca, lazer e passageiros) que são sempre recolhidas e agrupadas sempre que se prevê agitação marítima moderada a grave. Já o novo cais de acostagem sem nenhum tipo de proteção contra qualquer tipo de agitação marítima é das áreas expostas mais preocupantes, tendo em conta a finalidade para o qual foi construído.



Figura 57 - Desabamentos presentes no sector costeiro entre a praia da Barreirinha e o Garajau (ao fundo). Fonte: CMF.

Nas extremidades este e oeste, as repercussões de tais eventos são muito menos preocupantes e potenciadoras de causar um volume de estragos comparáveis com os sectores central e centro-oriental do concelho. A leste do porto do Funchal, desde a praia da Barreirinha até à Ponta do Garajau, pouca ou nenhuma ocupação antrópica relevante existe, sendo quase a totalidade deste troço caracterizada por pequeníssimas praias, desabamentos (entre a Barreirinha (Fig.57) e o Pináculo) e deslizamentos de terra (entre a Cancela e o Pico da Montanha) onde é importante referir que neste caso, alguns dos deslizamentos evidenciados correspondem a movimentos de terra, depositados durante muitos anos na plataforma criada na crista da arriba por extração de areão (lapilli) (Quintal, 2012). Neste troço, o potencial destrutivo da agitação marítima acaba por afetar apenas elementos naturais, contribuindo, possivelmente, para um acréscimo da erosão.

A oeste do porto do Funchal predominam marcas de desabamentos recentes (Quintal,2012) na base da arriba entre o Salto do Cavalo e a Ponta da Forja (Anexo 3). Também são mais que evidentes no sector mais oriental do concelho, entre a Praia Formosa e a foz da Rib. Dos Socorridos (Fig. 58 e 59), na base da arriba que percorre parte desta extensão. Em parte do troço correspondente à Praia Formosa existem alguns bares de apoio/restaurantes que sofrem perturbações e estragos por consequência direta da agitação marítima (Fig. 50 e 51). Em relação à unidade hoteleira aqui presente (Fig.58) (ponto vermelho), o perigo de danos materiais é relativamente reduzido pois existe um muro que oferece proteção contra a ondulação extrema, não sendo de todo impossível de ser galgado, existem relatos de inundações causadas pela ondulação.

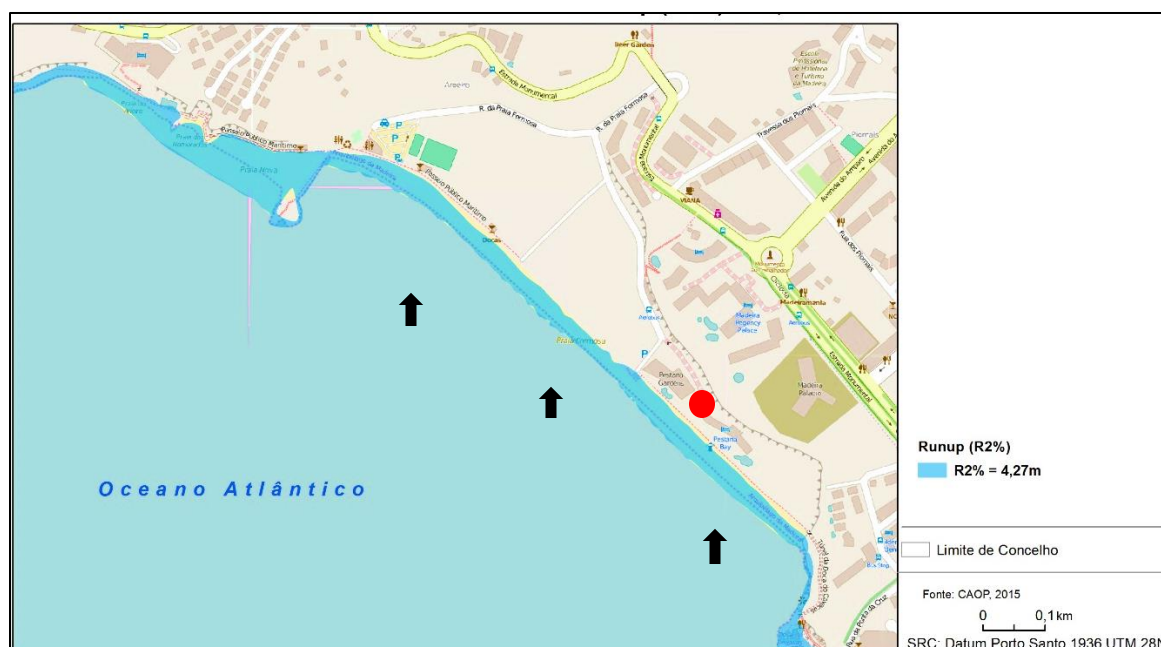


Figura 58 - Resultado do runup (R2% de 4,27 m) no sector costeiro correspondente à Praia Formosa.

O círculo vermelho corresponde à unidade hoteleira ali presente. As setas pretas correspondem ao troço da praia Formosa.

As inundações esperadas junto ao limite administrativo oeste da cidade do Funchal, cingem-se apenas a áreas onde existe um passeio marítimo (promenade) e as instalações do grupo Cimentos Madeira, que apesar da proximidade com a linha de costa, está protegida por muros e enrocamentos que impedem a ocorrência de galgamentos e inundações por via marítima. É possível que ocorram inundações (Fig. 59), na área que se enquadra na foz da ribeira dos

Socorridos e que pode, numa situação adversa originar um galgamento e posterior inundação destas instalações.



Figura 59 - Resultado do runup (R2% de 4,27 m) no sector costeiro relativo à praia Formosa (este) e a foz da ribeira dos Socorridos (oeste).

A seta preta corresponde as instalações do grupo Cimentos Madeira.



Figura 60 - Fotografia alusiva ao troço costeiro do limite administrativo oeste da cidade do Funchal, próximo da foz da ribeira dos Socorridos. Fonte: própria.

Seta a vermelho é o limite do enrocamento com o passeio marítimo. Seta a amarelo é o início das instalações do grupo Cimentos Madeira. Esta foto ilustra também o levantamento topográfico.

Grande parte deste passeio marítimo está protegido por enrocamentos (Fig.60) que evitam que as ondas rebentem diretamente nesta secção, diminuindo a possibilidade de inundações regulares. Ainda que suficiente para lidar com a agitação marítima, este enrocamento dificilmente impedirá galgamentos aquando de temporais com as mesmas condições dos do cenário elaborado.

6. Conclusões e considerações finais

A ocorrência de temporais marítimos adversos e extremos não é de todo frequente neste ambiente insular. Ocorrem em maior número situações relacionadas com movimentos de massa em vertente e cheias rápidas, fruto de precipitações intensas associada à orografia e à canalização de inúmeros cursos de água, do que situações de agitação marítima extrema, pelo menos no que respeita à costa sul da ilha da Madeira que se encontra protegida dos fluxos gerais.

Porém, os temporais marítimos ocorrem também na faixa costeira do Funchal. Estes temporais podem ter características variadas, especialmente no que respeita aos valores de altura de onda que atingem a linha de costa e as consequências possíveis de galgamentos e inundações costeiras.

O estudo do clima de agitação marítima permitiu, através da análise aos dados hidrográficos da bóia ondógrafo do Funchal, caracterizar a dinâmica marítima existente e observada em situações de temporal marítimo, contribuindo assim para a definição de temporal na faixa costeira do Funchal. A definição de temporal foi obtida através do método do percentil, neste caso percentil 95 e percentil 99, que resultou em dois níveis de magnitude claros associados à definição de temporal. Ao percentil 95, primeiro nível de temporal definido, corresponde o valor de 3,14 m de altura de onda. O percentil 99 assume o valor de 3,97m e indica claramente um nível de magnitude elevada em situações de temporal, para esta região. Estes limiares evidenciam os valores de altura significativa a partir dos quais se podem gerar situações de risco material e pessoal, especialmente nas zonas mais próximas do litoral, mais suscetíveis a sofrer com os impactos da agitação marítima em situações de temporal.

A análise dos temporais mostrou que a sua duração mais frequente é de 3-4 dias, podendo abranger um período de 15 dias. Estes dados são também relevantes pela duração que estes fenómenos podem ter, podendo fragilizar as estruturas de defesa existentes e promovendo uma inundação prolongada. Esta, se associada a temporal com chuvas persistentes em terra, pode dificultar o escoamento das ribeiras.

As situações aerológicas potenciadoras de situações de temporal são predominantemente do quadrante W e, com menor frequência de SW, podendo, no entanto, ter elevada magnitude.

As situações sinóticas associadas correspondem a depressões cavadas associadas a superfícies frontais com trajetórias de oeste para leste ou de sudoeste para noroeste.

O cenário de *runup* proposto visa demonstrar e analisar espacialmente os efeitos adversos de uma tempestade de elevada magnitude nas estruturas e instalações existentes junto à linha de costa.

O processo para a elaboração de um cenário de *runup* em toda a faixa ribeirinha do Funchal compreendeu algumas variáveis essenciais para este tipo de modelação espacial. Tendo por base a expressão utilizada por Nakamura *et al.*, (1972) para calcular o espraio de onda em situações de elevada magnitude e em áreas maioritariamente dominadas por muralhas e paredões marítimos, foram utilizadas as variáveis correspondentes ao declive associado às muralhas e paredões marítimos (tangente de 89°), valor mais elevado de H_{max} (11,80m), período médio de onda (8 segundos). A estas variáveis foi ainda adicionado o valor calculado de *storm surge* para o período de 2008-2013 (0,13 m) e o valor de maré astronómica (1,27 m). Obteve-se desta forma o valor de 4,27 m que corresponde a área inundável em toda a faixa ribeirinha.

É igualmente importante enfatizar a necessidade que surgiu durante a realização deste estudo em efetuar um levantamento topográfico em toda a faixa costeira funchalense. Esta decisão foi tomada e validada tendo em conta as inúmeras obras a que esta faixa foi sujeita nos últimos anos, especialmente após a intempérie de fevereiro de 2010. Este levantamento topográfico possibilitou uma precisão altimétrica das novas muralhas e paredões construídos, bem como o reajustamento altimétrico de algumas cotas entre o trajeto.

Apesar de a simulação realizada projetar um cenário de *runup* para paredões marítimos e muralhas (declive de 89°), não nos indica que não seja apropriada à área de estudo, pelo contrário, porque além dos trechos dominados por arribas, existe muita atividade e ocupação antrópica no litoral, nomeadamente as secções ocupadas pelas zonas balneares de hotéis e complexos balneares públicos e privados. Em todos estes casos ocorreram intervenções de proteção costeira para que pudessem defender ao máximo as suas infraestruturas. A colocação estratégica de inúmeros tetrápodes em grandes trechos dos paredões e muralhas erigidos ajuda a conservá-los por um período considerável, porque os níveis de energia associados ao rebentamento das ondas no Funchal são elevados e os estragos no passado assim obrigam. Igualmente foram utilizadas proteções costeiras com concavidades, de forma

a distribuir a energia das ondas por diferentes áreas, possibilitando que as estruturas de proteção resistam por mais tempo. O facto de o maior troço costeiro em que não se encontram nem paredões, muralhas ou arribas a proteger do impacto das ondas, a praia Formosa, ter sido incluída no mesmo cenário, não descredibiliza os resultados para este troço, porque conforme visualizados os resultados, notícias, relatos antigos e de acordo com a sua morfologia (relativamente estreita e declivosa), facilmente se percebe que as ondas atingem as cotas superiores ali existentes, causando grandes estragos em situações consideradas adversas. O mesmo acontece com as restantes pequenas praias (Gavinas, Barreirinha, São Tiago, Toco).

Todavia é notória a influência que todas as estruturas de proteção costeira construídas, em especial as mais recentes mesmo no centro do Funchal (Fig.55) contribuem da melhor forma possível para uma eficaz proteção das áreas ribeirinhas do Funchal, especialmente na ocorrência de temporais que originem alturas de onda muito elevadas, que potenciam estragos e danos materiais.

O estudo ao incidir também sobre as particularidades que definem a ocorrência de temporais, de menor e maior magnitude, proporciona uma enorme valência para todos os órgãos de gestão, ligados ou não às atividades costeiras, mas também para o sector da hotelaria que sofre periodicamente com estas situações do ponto de vista da ocupação urbana e do ordenamento sustentável. O facto de se ter definido a magnitude de temporais marítimos na fachada litoral do Funchal (método aceitável para toda a fachada sul da ilha), através dos percentis 95 e 99 possibilita a tomada prévia de decisões, apoiadas por previsões meteorológicas levadas a cabo por instituições públicas e privadas, contribuindo para que em circunstâncias previstas e aproximadas se possam alterar abordagens e métodos de salvaguarda na linha de costa, tendo em vista a diminuição dos impactes, já de si, destrutivos.

Desta forma, é imperativo que as entidades competentes, nomeadamente a Proteção Civil, tenham em conta estes valores para que se possam criar e emitir avisos quer sirvam para mitigar os evidentes perigos e riscos associados à permanência, quer de pessoas e bens em áreas de maior suscetibilidade, aquando da monitorização e previsão de situações de temporal marítimo.

Em suma, este estudo é muito interessante e importante em termos da dinâmica costeira insular, especialmente porque incide sobre a capital da região, onde várias vezes foram

elaboradas intervenções de engenharia pesada na frente-mar sempre vulnerável a situações extremas associadas a tempestades e temporais que assolam esta região insular, possibilitando sugestões suportadas com rigor técnico e científico para uma melhor abordagem e ocupação do litoral da cidade do Funchal tendo em conta os parâmetros analisados e os resultados obtidos através de toda a análise estatística efetuada.

Bibliografia

- Antunes, C. (2005) - Levantamentos Topográficos. *Apontamentos de Topografia*. Engenharia Geográfica. Departamento de Matemática. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- Brum da Silveira, A., Madeira, J., Ramalho, R., Fonseca P. e Prada, S. (2010) - *Notícia Explicativa das folhas A e B da Carta Geológica da Ilha da Madeira na escala 1/50000*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Brum Ferreira, A. (2005) - *Geografia de Portugal 1*, o Ambiente Físico. Círculo de Leitores, Lisboa.
- Brum Ferreira, D. (2005) - *Geografia de Portugal 1*, o Ambiente Físico. Círculo de Leitores, Lisboa.
- Carvalho, A. e Brandão, J. (1991) - *Geologia do Arquipélago da Madeira*, Publicação do Museu Nacional de História Natural (Mineralogia e Geologia) da Universidade de Lisboa.
- Costa, C. (1994) - *Wind wave climatology of the Portuguese Coast*. Final report of sub-project A. Rel. 6/94-A. PO-WAVES, IH-LNEC.
- Dantas, G. (2014) - *Cidade e Rede Urbana na Região Autónoma da Madeira*. O Liberal. Câmara de Lobos.
- ESTRATÉGIA CLIMA - MADEIRA - Estratégia de Adaptação às Alterações Climáticas da Região Autónoma da Madeira, Setembro de 2015.
- ESTUDO DE AVALIAÇÃO DO RISCO DE ALUVIÕES NA ILHA DA MADEIRA, - Relatório Base, (Versão 01), Dezembro de 2010.
- Geldmacher, J., van den Bogaard, P., Hoernle, K. and Schmincke, H. (2000) - The 40Ar/30Ar Age of The Madeira Archipelago and Hotspot Track (Eastern North Atlantic), G3, *Geochemistry Geosystems* 1.
- Gonçalves, A., B. e Nunes, R., S. (1990) - *Adenda às Ilhas de Zargo*. Câmara Municipal do Funchal. Funchal.
- Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Castelo Branco, M., Zêzere, J. L. (2009) - *Guia metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal*. Lisboa: ANPC, 2009. ISBN 978-989-96121-4-3.
- Machado, T. (2008) - *Avaliação de Desempenho de Receptores de GPS em Modo Estático e Cinemático*. Tese de Mestrado em Agronomia. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queirós”, Universidade de São Paulo.
- Melby, A. J., Caraballo, C. N., and Nobuhisa K. (2012) - *Wave Runup Prediction for Flood Mapping - Coastal Engineering*, 33, 2012.
- Morgado, P. (2009) - *Avaliação da Precisão de Posicionamento Inerente à Utilização de Sistemas GPS de Baixo Custo, Receptores Utilizados para Navegação*. Tese de Mestrado em Engenharia Municipal. Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

- Nakamura, M., Sasaki, Y., and Yamada, J. (1972) - *Runup on seawalls with composite cross section*. Proc. 19th, Japanese Conf. On Coastal Eng., JSCE, 19, 309-312.
- Neves, D. (2010) - *Turismo e riscos na ilha da Madeira - Avaliação, Percepção, Estratégias de Planeamento e Prevenção*. Tese de Mestrado. Departamento de Geografia, Universidade de Coimbra.
- Pereira, E. C. N. (1989) - *Ilhas de Zargo*. 4.ª Edição. Câmara Municipal do Funchal. Funchal.
- Pita, C. e Santos, J. (1989) - *Análise dos temporais da costa oeste de Portugal Continental (1956 a 1988)*. Relatório 1189-A, PO-WAVES, IR-LNEC.
- Policarpo, N. (2012) - *Suscetibilidade aos Movimentos de Vertente e Vulnerabilidade do Concelho do Funchal*. Tese de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.
- Projecto CLIMAAT II (2006) - *Impactos e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas no Arquipélago da Madeira*. Direção Regional do Ambiente da Madeira, Funchal.
- Quintal, R. (1999) - *Aluviões na Madeira, Séculos XIX e XX*, *Territorium*, 6, 31-48. Coimbra. Associação dos Amigos do Parque Ecológico do Funchal.
- Quintal, R. (2007) - *Estudo fitogeográfico dos jardins, parques e quintas do concelho do Funchal*, Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa.
- Quintal, R. e Policarpo, N. (2012) - *Baía do Funchal. Dinâmicas Naturais e Antrópicas*. Esfera do Caos. Lisboa.
- Ramos-Pereira, A. (2001) - *O(s) Oceano(s) e as suas margens*. Cadernos de Educação Ambiental 5, Edição do Instituto de Inovação Educacional. Lisboa.
- Ramos-Pereira, A. (2011) - *Intempérie de 20 de Fevereiro/2010. Intervenção no Porto do Funchal a Leste do Cais da Cidade. Intervenções nos troços terminais das Ribeiras de Santa Luzia e João Gomes – Projecto de Intervenção nas Ribeiras de Santa Luzia e de João Gomes*. Câmara Municipal do Funchal, parecer solicitado em abril de 2011, 15p.
- Ribeiro, L. e Ramalho, M. (2007) - *Uma Visita Geológica ao Arquipélago da Madeira. Principais Locais Geo-Turísticos*. Direção Regional do Comércio, Indústria e Energia.
- Ribeiro, O. (1985) - *A ilha da Madeira até meados do Séc. XX*. Instituto de Cultura e Língua Portuguesa. Lisboa.
- ROTEIRO DO ARQUIPÉLAGO DA MADEIRA E ILHAS SELVAGENS (1979) - Instituto Hidrográfico. 2.ª Edição. Lisboa.
- Rusu, E. e Soares, C.G. (2012) - *Wave Energy Pattern Around The Madeira Islands*. *Energy*, 1, 771-785.
- Sepúlveda, S. (2011) - *Avaliação da Precipitação Extrema na Ilha da Madeira*. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Sousa, N. (2015) - *Dinâmica da Linha de Costa e Vulnerabilidade à Erosão no Setor não Artificializado do Arco Caparica – Espichel*. Tese de Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa.

Tamada, T., Mase, H., Yasuda, T. (2011) - *Runup Formulations for Seawalls near Shoreline. Coastal Structures, 2011*: (In 2 Volumes) (pp. 579-587).

Trindade, J., Neves, M., Ramos-Pereira, A., Gusmão, M.F. (2009) - *Desenvolvimento de metodologia específica para levantamentos topográficos detalhados em plataformas rochosas de sopé. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Braga, volume VI: 57-62. (ISBN: 978-989-96462-0-9).

Trindade, J. (2010) - *Dinâmica Morfossedimentar de praias dominadas por sistema de arriba (Peniche-Cascais)*. Tese de Doutoramento em Geografia, especialidade de Geografia Física, Universidade Aberta, Lisboa.

Van Derv Meer, J. W., (2002) - *Technical Report Wave Run-Up and Overtopping at Dikes*. Technical Advisory Committee on Waterdefences, Delft, the Netherlands, 70pp.

Anexos

